THE UNIVERSITY
OF ILLINOIS
LIBRARY
508.05
Z E
v. 48

The person charging this material is responsible for its return to the library from which it was withdrawn on or before the **Latest Date** stamped below.

Theft, mutilation, and underlining of books are reasons for disciplinary action and may result in dismissal from the University.

UNIVERSITY OF ILLINOIS LIBRARY AT URBANA-CHAMPAIGN

OCT 14 1975

OCT 4 1975

L161—O-1096

ZEITSCHRIFT

FÜR

INSTRUMENTENKUNDE

Organ

für

Mitteilungen aus dem gesamten Gebiete der wissenschaftlichen Technik

Herausgegeben

unter Mitwirkung der

Physikalisch-Technischen Reichsanstalt

von

L. Ambronn in Göttingen, **W. Breithaupt** in Cassel, **M. Edelmann** in München, **P. Guthnick** in Neubabelsberg, **O. Günther** in Braunschweig, **W. Haensch** in Berlin, **K. Haußmann** in Schwäb.-Gmünd, **C. Hensoldt** in Wetzlar, **W. Hildebrand** in Freiberg i. S., **E. Kohlschütter** in Potsdam, **A. Köhler** in Jena, **F. Löwe** in Jena, **H. Ludendorff** in Potsdam, **H. Maurer** in Berlin, **W. Nernst** in Berlin, **M. v. Rohr** in Jena, **W. Sartorius** ı Göttingen, **A. Schmidt** in Cöln a. Rh., **R. Steinheil** in München, **R. Straubel** in Jena, **E. Warburg** in Berlin, **F. Weidert** in Berlin, **P. Werkmeister** in Dresden.

Schriftleitung: **F. Göpel** in Charlottenburg

Achtundvierzigster Jahrgang 1928.

Berlin.

Verlag von Julius Springer

1928.

508.05
ZE
v. 48

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Ein neuer magnetischer Normaltheodolith. Von R. Bock 1
Der Einfluß der Federmassen auf die dynamischen Eigenschaften von Indikatoren. Von O. Holm 14
Zur Theorie der Refraktometer. Von H. Schulz 26
Einige Beobachtungen an Dosenlibellen. Von K. Lüdemann 31
Besondere Vorrichtungen zum Beobachten des Libellenstandes bei Nivellierinstrumenten. Von P. Werkmeister 39
Untersuchung eines Breithauptschen Kreises nach der Methode von Heuvelink und Bemerkungen zu dieser Untersuchungsmethode. Von L. Fritz und W. Uhink 53
Zur Bestimmung von Kreisteilfehlern. Von A. Bohrmann 69
Zur Messung von Linsenradien. Von A. Schleiermacher 70
Zur Kenntnis der Porroschen Patentschriften mit einer Übertragung der Texte ins Deutsche. Von M. v. Rohr 74
Versuche der Herstellung widerstandsfähiger Gewichte. Von A. N. Schükarew 88
Max Wolz †. Von C. Müller 101
Vorrichtung zur Verbreiterung von Sternspektren für photometrische Zwecke. Von B. Meyermann 104
Ein neuer technischer Farbmeßapparat. Von F. Herzfeld-Hoffmann 105
Genauigkeitsuntersuchungen an einem geodätischen Doppelbild-Entfernungsmesser. Von K. Lüdemann 109
Der neue Präzisions-Theodolith Wild. Von P. Werkmeister 114
Beitrag zur Entwicklung von Dehnungsmessern kleiner Meßlänge. Von K. Böttcher 116, 178, 234, 285
Integration vermittels des Kurvimeters. (2. Mitteilung.) Von H. Schwerdtfeger 125
Thermo-Wattmeter für geringen Leistungsfaktor und für Hochfrequenz. Von E. Kühnel . . 127
Verbesserung der Registrierfeder. Von W. Keil 130
Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1927 . . . . . . 145, 201, 257
Zur Entstehung des Jenaer Glaswerks. Von M. v. Rohr 166
Optische Multiplikatoren. Von S. J. Turlyghin 187
Einige Neukonstruktionen meteorologischer Instrumente. Von Olaf Devik 218
Über das von Herrn Tetens vorgeschlagene Achsensystem für Ballon-Theodolite. Von H. Fuß 228
Entladungsrohr für photometrische Messungen, insbesondere im Ultraviolett. Von E. Lau . . 284
Zur Normalisierung im Mikroskopbau. Von C. John 292
Zum Gedächtnis Eduard Dunckers. Von K. Albrecht 299
Über Sinusbedingung, Kosinusrelation, Isoplanasie- und Homöoplanasiebedingung, ihren Zusammenhang mit energetischen Überlegungen und ihre Ableitung aus dem Fermatschen Gesetz. Von M. Herzberger 313, 465, 524
Über die Bestimmung des Kippachsenfehlers und die Prüfung bzw. Berichtigung von Reversionslibellen. Von V. Theimer 327
Die Umrechnung von schief gemessenen Längen auf die Horizontale bei Grundlinienmessung mit Drähten. Von P. Werkmeister 338
Integration vermittels des Kurvimeters. (3. Mitteilung.) Von H. Schwerdtfeger 340
Zur Vorrechnung von Lichtbildlinsen mit dem Eikonal. Von E. v. Gronow 345
Beseitigung der Unstetigkeiten im Auflösungsvermögen der Dunkelfeldmikroskope. Von J. Groeneveld 349
Abänderung der gesetzlichen Temperaturskala. Von F. Henning und J. Otto 361
Drahtlose Fernsteuerung von Koinzidenzapparaten bei relativen Schweremessungen. Von E. Berger 366
Untersuchung über die Genauigkeit des harmonischen Analysators von Dr. O. Mader. Von F. Ackerl 375
Das Vektor-Präzisionsscheibenplanimeter mit selbsttätiger Kompensation. Von J. Schnöckel 381
Über die Gesetze zweiter Ordnung längs einem Meridianstrahl in Rotationssystemen. Von M. Herzberger 384

711910

Seite

Über die Ermittlung der Farbkoordinaten aus den Messungen am trichromatischen Kolorimeter. Von J. Runge 387
Zur Pilotvisierung in See. Von E. Stoecker 396
Ersatzschaltung für die Rückwirkung der Zunge des Resonanztelephons. Von F. Bergtold . 400
Die Schwingungsdauer der nicht ausgewuchteten Unruh. Von H. Bock 413
Eine einfache Anordnung für stroboskopische Untersuchungen. Von H. E. Linckh und R. Vieweg 416
Die Abplattung von Stahlkugeln und -zylindern durch den Meßdruck. Von G. Berndt . . . 422
Zur Maxwell-Thomsonschen Methode der absoluten Kapazitätsbestimmung. Von R. Skancke 432
P. L. Guinands Anweisung zum Glasschmelzen. Von M. v. Rohr 438, 501, 548, 600
Über Bildweitenbestimmung bei geneigten Photogrammen. Von A. Hornoch 491
Das Auflösungsvermögen der Fernrohre von kleinen und mittleren geodätischen Vermessungsinstrumenten. Von K. Lüdemann 496
Untersuchung der Teilung eines Wildschen Präzisionstheodolits. Von F. Ackerl 517
Die Abhängigkeit der sphärischen Aberration der Meridianstrahlen von der Lage des Objektes und der Eintrittspupille. Von E. Jachontow 540
Zur Prüfung eines Photogrammeters. Von H. Löschner 573
Entgegnung zum Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynamischen Eigenschaften von Indikatoren“ von Otto Holm. Von Fr. Dubois 585
Stellungnahme zur Entgegnung von Herrn Dr. Fr. Dubois zu meinem Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynamischen Eigenschaften von Indikatoren. Von O. Holm . 597

Referate.

Über die Parallelrichtung des Lichts im Falle einer Lichtquelle endlicher Ausdehnung 40
Verwendung photoelektrischer Zellen für Beobachtung und Betrieb von Pendeluhren. — Über ein durch photoelektrischen Strom betriebenes freies Pendel und seine Verwendung im Zeitdienst 41
Ein neuer Breithaupt-Reisetachymeter 43
Der mittlere Zielfehler bei Winkelmessungen für Kleintriangulation 43
Über die Form des Fadenkreuzes 43
Ein neues Reihenbildgerät für Luftmeßaufnahmen 43
Flugzeug-Stereokammer zur Herstellung von räumlichen Aufnahmen aus dem Flugzeug aus niederer Höhe, insbesondere von Stadtarchitekturen 44
Das Entzerrungsgerät des Konsortiums Luftbild–Stereographik, Modell 1926 44
Die geometrische Theorie der mechanischen Entzerrung von ebenen Fliegeraufnahmen 44
Neues auf dem Gebiete der Photogrammetrie, namentlich der Luftphotogrammetrie 45
Ein Apparat zur Messung der atmosphärischen Turbulenz 45
Ein neuer Schallmesser für die Praxis 46
Eine handliche Meßbrücke zur Bestimmung von Induktivitäten und Kapazitäten 47
Ein neues Pyrheliometer 90
Eine neue „Archimedes“-Rechenmaschine 91
Der Reduktionstachymeter Bosshardt-Zeiss 93
Prüfung der Teilung eines Wildschen Universaltheodolits 94
Über die Prüfung von Schraubenmikrometern, insbesondere die Bestimmung der periodischen Fehler von Schraubenmikroskopen an Theodoliten und ein neues hierzu dienendes einfaches Hilfsmittel 95
Ergebnisse der Versuchsmessungen mit einem 8-cm-Theodolit mit Schraubenmikroskopen . . 95
Die Genauigkeit der Höhenbestimmung durch Einschaltung mit Federbarometern 96
Ein neuer Auftragapparat für Polarkoordinaten (Polarkoordinatograph) 131
Meßtischausrüstung von H. Wild 134
Die Polarkoordinatenmethode mittels optischer Distanzmessung als Aufnahmeverfahren für Katastermessungen 135
Bestimmung der Höhenlage der Insel Terschelling 136
Entfernungsmesser „Fardi“ für technische Zwecke 137
Über eine Vergleichsstrecke bei Längenmessungen 138
Über Winkelprismen 138

Seite
Die Helligkeit der Fernrohre geodätischer Vermessungsinstrumente 138
Normung im Vermessungswesen 138
Die Gesetze erster Ordnung in optischen Systemen 192
Die Lichtstromverteilung eines Systems gegenseitig reflektierender Flächen 192
Asphärischer Vergrößerungskondensor 193
Lichtstreuung und Sicht. Anwendung auf Scheinwerfer 193
Die Intensitätsverteilung in astigmatischen Bildern mit besonderer Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit von Prüftafeln bei der Refraktionsbestimmung 194
Herstellung von starken Verkleinerungen 195
Eine Methode zur Erzeugung von Lichtblitzen gleichmäßiger Intensität und kurzer Dauer . . 197
Die optischen Konstanten von Molybdenit im Ultraviolett 198
Geophysikalische Methoden im Bergbau 248
Konstruktion, Theorie und Anwendung der Lokalvariometer 249
Die Eötvös-Torsionswaagen Bauart Schweydar-Bamberg 249
Ein neuer Zähigkeitsprüfer (Viscosimeter) 249
Die Behandlung der Reflexion als Spezialfall der Brechung 250
Ein apochromatisches Fernrohrobjektiv großer relativer Öffnung und von kleinem Durchmesser 251
Über das Hartmannsche Verfahren der Objektivprüfung 252
Über die Normung von Einschraubthermometern 252
Die Rechenmaschinen „Kuhrt" 302
Über große, mit Rotoren ohne feste Achse erzeugte Winkelgeschwindigkeiten 304
Anwendung der algebraischen Bildfehlergleichungen auf das optische Rechnen 306
Die Analyse eines Interferogramms 307
Eine exakte Methode zur Bestimmung der Lage des Brennpunktes eines optischen Systems . 307
Über den Einfluß künstlichen Tageslichtes und des Lichtes gewöhnlicher Nitralampen auf das Auge 307
Beitrag zur Frage der Glasreflexion 307
Über das von einem Plattensatz durchgelassene und reflektierte Licht 308
Über das Exnersche Polarimeter und eine Anwendungsart dieses Instrumentes 308
Vergleichung der Deformation von Glas und geschmolzenem Quarz unter der Einwirkung von Temperaturänderungen 308
Die Charakterisierung der Gläser durch ihre elektromotorischen Eigenschaften 309
Die Vierundzwanzigstundenuhr mit Tages- und Nachtzifferblatt 309
Erfahrungen beim Heliotropieren 352
Über den Einfluß des Grenzkontrastes auf Präzisionsmessungen 353
Eine photographische Methode der Spektralphotometrie im Rot und Ultrarot 353
Die Aufhebung der Verzeichnung an Objektiven für Luftbildphotographie 354
Die Verzeichnung einiger typischer photographischer Objektive 354
Achromatische Linsen für das Ultraviolett 355
Die Messung des Auflösungsvermögens photographischer Schichten 355
Eine einfache Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Momentverschlusses photographischer Apparate 356
Ein registrierender Schallmesser und seine Anwendungen 356
Ein neues Torsionsanemometer 357
Campbell-Kapazitäts-Meßbrücke 358
Die Rechenmaschine „Hamann-Automat" 405
Über asphärische Linsensysteme 406
Prüfungsverfahren eines nicht sphärischen Hohlspiegels 406
Kontrolle von Parabolspiegeln nach der Hartmannschen Methode 406
A Comparator-Mikrophotometer 407
A Polarization Photometer Eypiece 407
Erprobung einiger einfacher Vorrichtungen zur Erkennung von Inhomogenitäten in optischem Glase 407
Über das „Kreuzvisier Hensoldt Modell 1924" und den regelmäßigen Fehler einiger neueren Winkelprismen 408
Über elektrische Methoden der Messung des erdmagnetischen Feldes und ein Universal-Induktions-Magnetometer 408

Seite

Hochspannungsvoltmeter 409
Der Zeitdruck-Registrierapparat von Löbner als Chronograph für sportliche Zeitmessungen . . 454
Gebrauch und Prüfung von Blutdruckmessern 458
Ein Vakuum-Hitzdrahtmanometer 458
Definitionen pyrometrischer Ausdrücke 459
Das Wärmelot, ein Gerät zum Aufzeichnen der Tiefentemperatur in stehendem Gewässer . . 459
Über Einstellsicherheit bei elektrischen Meßgeräten 460
Untersuchungen einiger technischer Zähigkeitsmesser 559
Profilkippregel 559
Über die Feldausrüstung Zeiss Modell C 3b, ein Aufnahmegerät für terrestrische Photogrammetrie 561
Ein neuer selbstrechnender Tachymeter 561
Die Feldermillimeterteilung im praktischen Gebrauch bei mittelbaren Entfernungsmessungen . 563
Die Entwicklung der „Vektorintegratoren“ zur maschinellen Lösung von Potential- und Wirbelproblemen 564
Über Wolfram-Zinkonoxydöfen 565
Das Hangphänomen des Quecksilbers und ein neues Manometer 566
Ein Röhrenvoltmeter 567
Über die Temperaturabhängigkeit des remanenten Magnetismus 567
Eine monometallische Kompensationsunruh 568
Das Sigmaverfahren zur Schmierung feiner Mechanismen 568
Das „Ultramikrometer“, ein neues Instrument zum Messen sehr kleiner Lageänderungen und Bewegungen und seine verschiedenartige Anwendung 614
Kathodenoszillograph 616
Über Nivellementsfestpunkte der Trigonometrischen Abteilung des Reichsamts für Landesaufnahme 617
Ein neuer Mikroskop-Theodolit 618
Über die Verstimmung belasteter Stimmgabeln 618
Einige noch unbestellte Gebiete der Optik 619
Die Untersuchung einer Linse durch das Zeichenverfahren 621
Bordgeräte im Verkehrsflugzeug 621

Bücherbesprechungen.

E. Freundlich, Das Turmteleskop der Einsteinstiftung 48
D. Baxandall, *A telescope made by Christopher Cook in 1673* 49
E. Yvon, *Contrôle des surfaces optiques* 50
O. D. Chwolson, Lehrbuch der Physik. Band IV, 2. Abtlg. 51
Neue Preisliste von F. W. Breithaupt & Sohn, Kassel 52
B. Gutenberg, Lehrbuch der Geophysik II.—IV. Lief. 96
J. Bonsdorff, Verhandlungen der in Helsingfors vom 28. Juni bis 2. Juli 1924 abgehaltenen geodätischen Konferenz 97
Osk. Knoblauch u. K. Hencky, Anleitung zu genauen Temperaturmessungen 98
R. Seeliger, Einführung in die Physik der Gasentladungen 98
H. Boegehold, Geometrische Optik 139
Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik. 11. Auflage, 2. Band, 1. Hälfte 139
C. Chree, *Comparison of magnetic Standards at British Observatories* 141
William Dériaz, *Les mesures de températures courantes* 144
Henry T. Brown, Bewegungsmechanismen 144
A. Kistner, Deutsche Meister der Naturwissenschaft und Technik 144
Karl Stumpff, Analyse periodischer Vorgänge 198
M. Graeser, Prüfung der Genauigkeit der topographischen Grundkarte 1 : 5000 199
W. v. Ignatowski, Die Vektoranalysis und ihre Anwendung in der theoretischen Physik . 200
E. Gehrke, Handbuch der physikalischen Optik, Bd. II, zweite Hälfte, erster Teil 253
E. Gehrke, Handbuch der physikalischen Optik, Bd. II. zweite Hälfte, zweiter Teil 253
Walter Pflaum, Beitrag zur Mengenmessung strömenden Dampfes mittels Stauringen . . . 254
Max Mayer, Nomographie des Bauingenieurs 255
H. Schwerdt, Einführung in die praktische Nomographie 255

Seite

Ch. Fabry, *Introduction générale à la photometrie* 310
E. Strömgren und Bengt Strömgren, Zweite Sammlung astronomischer Miniaturen . . . 310
Arbeiten zur Luftnavigierung 310
H. Bongards, Feuchtigkeitsmessung 311
Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik. V. Bd., 2. Hälfte 358
Alkoholometrische Tafeln 360
Optik, Halbmonatsschrift für die optische Industrie und verwandte Berufszweige 360
P. Werkmeister, Einführung in die Ausgleichsrechnung 409
F. Auerbach und W. Hort, Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik 410, 570, 623
J. William Gifford, *Lens computing by trigonometrical trace* 411
A. Mangin und W. Tschikolew, Drei grundlegende und gemeinverständliche Arbeiten zur Scheinwerferfrage 411
Paul Schrott, Leitfaden für Kinooperateure und Kinobesitzer 412
Mitteilungen aus dem Markscheidewesen 412
Jahresbericht des Reichsamts für Landesaufnahme 412
O. D. Chwolson, Die Physik 1914—1926 460
H. J. Gramatzki, Leitfaden der astronomischen Beobachtung 461
H. v. Sanden, Mathematisches Praktikum I 461
O. Eggert und F. Koll, Geodätische Rechnungen mittels der Rechenmaschine 461
J. Geiger, Mechanische Schwingungen und ihre Messung 462
J. Zingler, Theorie der zusammengesetzten Waagen 462
Jo Engel, Der tönende Film 462
J. Bonsdorff, Verhandlungen der in Stockholm vom 10. bis 14. August 1926 abgehaltenen zweiten Tagung der baltischen geodätischen Kommission 463
Annual report of the director United States coast and geodetic survey 463
Loewe-Teilapparate und das Teilen 463
W. Wien und F. Harms, Handbuch der Experimentalphysik 514
W. E. Hughes, Modernes elektrolytisches Überziehen 515
Jenaer Glaswerk Schott & Gen. Liste 4213. Jenaer Farb- und Filtergläser für Wissenschaft und Technik 516
Kalender für Landmessungswesen und Kulturtechnik 516
Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 569
P. Seliger, Das photogrammetrische Meßverfahren 569
G. Förster, Geodäsie 570
F. Bergtold, Kurzgefaßtes Handbuch der Elektrizitätszählertechnik 570
Rudolf Schäfer, Rostfreie Stähle 571
Neue Preisliste von M. Hensoldt & Söhne in Wetzlar 572
Wilhelm Müller, Mathematische Strömungslehre 623
K. Giebel, Das Pendel 624

Bemerkungen zu der Arbeit von Th. Eversmann 99
Das Luftbildwesen auf der Ila 1928 in Berlin 312, 463
Berichtigung 412
Ausstellung „Elektrisches Messen“ in Wien 464
Nachschrift von M. Herzberger 464
Zur Prüfung von Momentverschlüssen 464
Strömungsmesser Ausschuß beim Verein deutscher Ingenieure 624
Mitteilung der Schriftleitung 624
Namen- und Sachregister 625
Fehlerberichtigung 632
Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1928 632

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **Januar 1928.** Erstes Heft.

Ein neuer magnetischer Normaltheodolit.

Von

R. Bock in Potsdam.

(Mit einigen Bemerkungen von Adolf Schmidt.)

(Mitteilung aus dem Magnetischen Observatorium Potsdam.)

Vorbemerkung.

Der im folgenden beschriebene Magnettheodolit soll außer zu den gewöhnlichen Beobachtungen der Horizontalintensität zur eingehenden Untersuchung von Magneten, insbesondere zur genauen Bestimmung ihrer Parameter, d. h. der für ihre Wirkung maßgebenden Konstanten dienen. Der Theodolit besitzt zu diesem Zweck an den Enden der Schiene drehbare Magnetlager, mittels deren dem Ablenkungsstab jede beliebige Lage in der Horizontalebene gegenüber der Nadel gegeben werden kann.

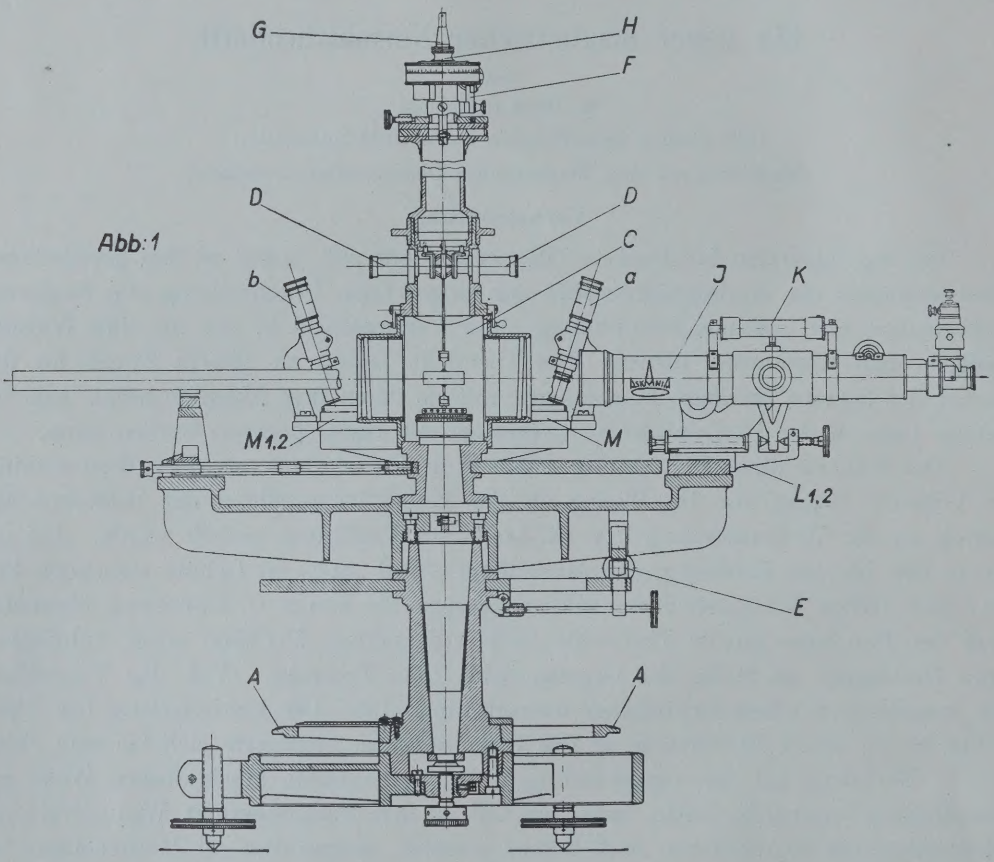
Der Plan zu dieser Einrichtung entstand im Herbst 1903, als dem Observatorium ein größerer Betrag zur Beteiligung an der Kollektivausstellung der deutschen Mechanik an der Weltausstellung von St. Louis zur Verfügung gestellt wurde. Bei der Kürze der bis zur Eröffnung der Ausstellung (April 1904) zu Gebote stehenden Zeit war eine völlige Neukonstruktion ausgeschlossen; die Firma C. Bamberg übernahm aber den Bau eines großen Theodolits nach vorhandenen Modellen unter Anbringung eines Drehlagers an Stelle des Gegengewichts zum Fernrohr. (Vgl. das Verzeichnis der ausgestellten wissenschaftlichen Instrumente S. 13). Die Fertigstellung des Theodolits bis zu seiner Ablieferung an das Observatorium verzögerte sich bis zum Jahre 1907. Nachdem ich ihn eingehend u. a. in der weiterhin beschriebenen Weise auf Eisenfreiheit untersucht hatte, habe ich ihn an den Haupttheodolit Wanschaff des Observatoriums angeschlossen und, darauf gestützt, gelegentlich zu H-Messungen benutzt; von einer Verwendung zu Parameterbestimmungen aber (abgesehen von einigen Probemessungen) Abstand genommen, weil die strenge Elimination der unvermeidlichen kleinen Justierungsfehler die Benutzung zweier symmetrisch zur Nadel angeordneten Magnetlager verlangt.

Der hiernach vervollständigte und mit einer Vorrichtung zur bequemen und genauen Ausmessung der Magnetentfernung versehene Theodolit, der jetzt zur Ausführung gekommen ist, entspricht im wesentlichen einem 1913 von mir auf Ersuchen des Fürsten Galitzin ausgearbeiteten Entwurf. Die von diesem für das Observatorium in Pawlowsk bei Bamberg aufgegebene Bestellung kam infolge des Krieges nicht zur Ausführung, aber eine entsprechende Abbildung findet sich in dem später von der Firma herausgegebenen Katalog Erd 50 (S. 13, Abb. 4). Für die dort angedeutete Höhenverstellbarkeit der Magnetträger, die eine zum mindesten unnötige Komplikation

darstellt, bin ich jedoch nicht verantwortlich; bei der jetzt zur Ausführung gekommenen Einrichtung wurde deshalb auch darauf verzichtet. Dagegen sind die gleichfalls von mir abgelehnten Schraubenmikroskope am Hauptkreis noch beibehalten geblieben. Sie gehen mit ihrer durch verringerte Bequemlichkeit der Ablesung erkauften Ableseschärfe über die sachlich erreichbare Genauigkeit hinaus und sind künftig durch Skalenmikroskope zu ersetzen, wie sie bereits an den beiden anderen Kreisen in Verwendung sind.

Einem Wunsche der Firma gern entsprechend habe ich die Prüfung eines der zunächst fertiggestellten Instrumente im magnetischen Observatorium zu Potsdam übernommen. Ich habe die Messungen, da ich seit Jahren infolge eines Augenleidens nicht mehr imstande bin selbst zu beobachten, meinem Kollegen Dr. Bock übertragen,

Abb. 1



der deshalb auch im folgenden darüber berichtet und zweckmäßigerweise auch die Beschreibung des Instruments übernommen hat. Zu den Messungen wurden nicht die zum neuen Theodoliten gehörigen Magnete, sondern die Nadel und die Magnete des Theodoliten Wanschaff des Observatoriums benutzt, deren Konstanten bereits bekannt sind, was die Möglichkeit einer Kontrolle gewährt.

Die zur Auswertung der Beobachtungen dienenden Formeln habe ich in einem besonderen Aufsatze[1]) entwickelt und in gebrauchsfertiger Form zusammengestellt. Ich benutze die Gelegenheit, einige dort bei der Korrektur stehengebliebene, störende Versehen zu berichtigen.

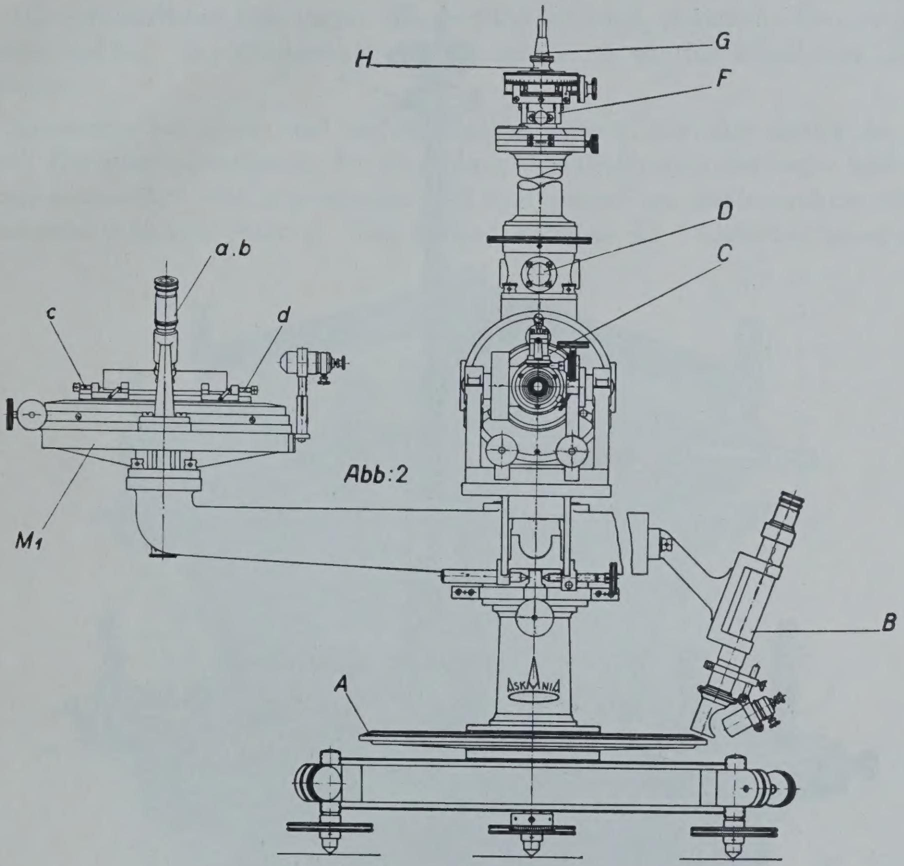
---

[1]) Adolf Schmidt, Über die Bestimmung der Parameter von Stabmagneten. *Bericht über die Tätigkeit des Preuß. Meteorolog. Instituts im Jahre 1926.*

In den Gleichungen (11a), (11b), (14) und (15) ist rechts überall der Faktor μ hinzuzufügen und auf Seite 55 (Mitte) muß es $p e^{-3} = p'$ und $q e^{-3} = q'$ heißen.

A. Schmidt.

Die Beschreibung der Teile des Theodolits, die sich bei den meistens in Verwendung befindlichen Typen vorfinden, also Hauptteilkreis (A)[1]) mit Ablesemikro-



skopen (B), Magnetgehäuse (C), Arretierungsvorrichtung (D) und Feinverstellung (E) kann übergangen werden. Erwähnenswert sind einige Verbesserungen, die sich zwar z. T. schon bei alten Potsdamer Instrumenten vorfinden, wie die am Torsionskopf vorhandene Einstellvorrichtung (F), die ein bequemes und genaues Aufsuchen der zentralen Lage der Nadel und die Möglichkeit der Ermittlung jeder schädlichen magnetischen Wirkung des Instrumentes bietet. Sie besteht aus zwei Schlitten, die in zwei zueinander senkrechten Richtungen mittels Feinschrauben um 6 mm verschoben werden können. Am obersten Ende der Suspensionsröhre befindet sich die Vorrichtung (G) zum Heben und Senken der Nadel um etwa 10 mm. Eine Drehung der Schraube (H) verändert die Höhe der

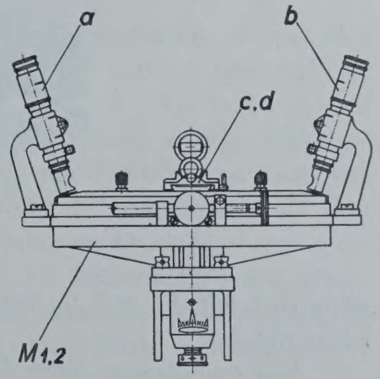


Abb. 2a.

[1]) Wenn nichts anderes vermerkt ist, beziehen sich die Hinweise ($A, B, \ldots, a, b \ldots$) auf die Abbildungen 1, 2, 2a, 3 und 4, soweit sie auf den einzelnen Abbildungen sichtbar sind.

Nadel um 0,5 mm. Das Fernrohr (J) kann umgelegt werden, um Fehler in der Stellung des Spiegels der Nadel zu eleminieren. Es besitzt im Okular eine Skala, die Ablesung beruht also auf dem Prinzip der Autokollimation. Statt des sonst mit dem Fernrohr verbundenen Teilkreises dient eine unempfindliche Libelle (K) zur schnellen Einstellung der Höhenrichtung. Die Feinschrauben für die Höhenverstellung des Fern-

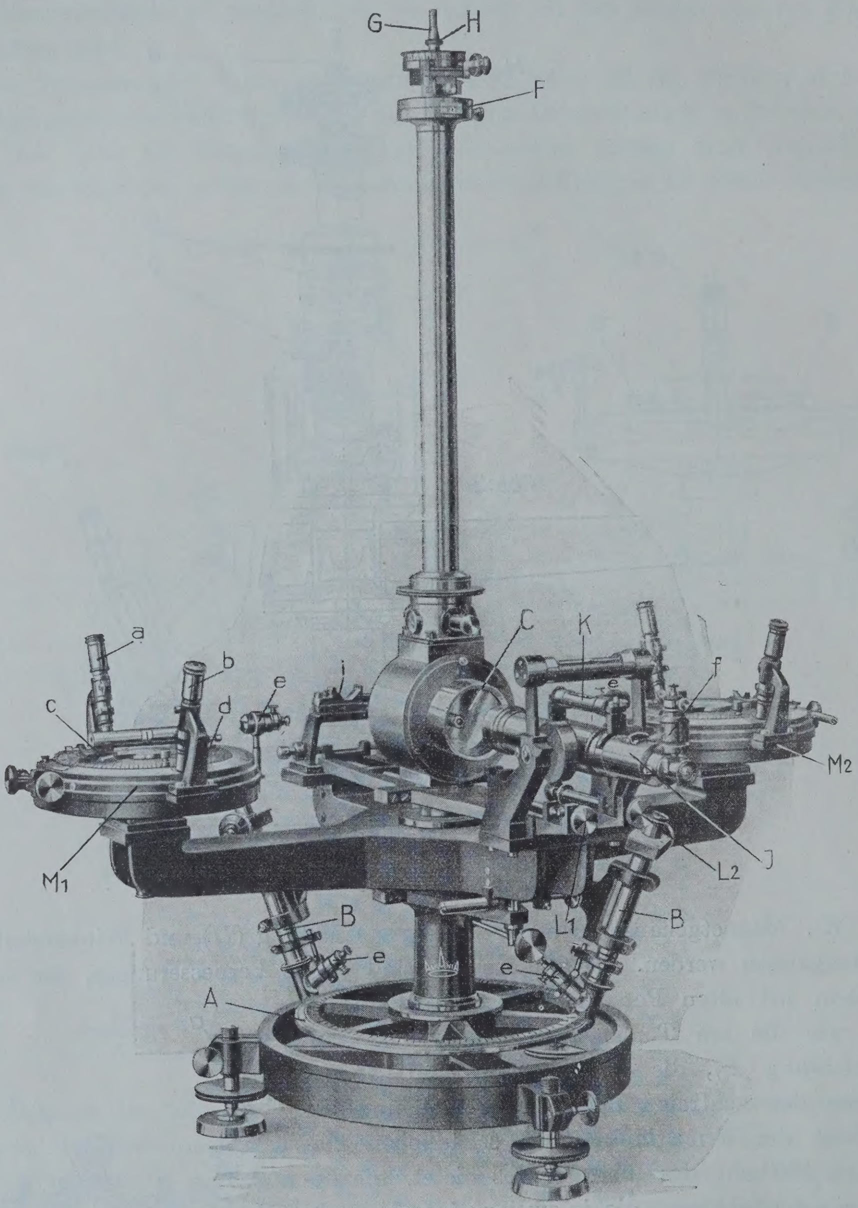


Abb. 3.

rohrs sind mit L_1 und L_2 bezeichnet. Auch bei umgelegtem Fernrohr ist die Libelle leicht ablesbar.

Das grundlegene Neue dieses Theodoliten besteht darin, daß die Ablenkungsschienen durch zwei Drehlager (M_1 und M_2) ersetzt sind, die an ihrem Rande eine Kreisteilung tragen. Ein innerer Ring des Kreises ist von oben sichtbar und zur ungefähren Einstellung in ganze Grade geteilt. Der äußere Ring, der die feine Tei-

lung in 10′ trägt, ist verdeckt und nur durch die beiden Mikroskope (*a* und *b*) ablesbar. Diese besitzen eine Strichteilung von 10mal 1 Minute. Es lassen sich mithin gut $^1/_{10}$ Minuten schätzen.

Zwei Anschläge (*c* und *d*), von denen aber zweckmäßig nur einer benutzt, bieten Gewähr für eine gegen den Drehpunkt unveränderte Lage des Stabes.

Alle erforderlichen Ablesungen können künstlich durch elektrische Zwerglampen (*e*) erleuchtet werden. Die Okularskala des Fernrohres ist nur für künstliches Licht (*f*) eingerichtet.

Außerordentlich genau und verhältnismäßig einfach läßt sich mittels der beigegebenen Komparatoreinrichtung die Entfernung der Drehpunkte der Lager bestimmen. Die Suspensionsröhre wird abgenommen und statt dessen ein drehbarer Arm mit zwei Mikroskopen aufgesetzt (Abb. 4). Die Entfernung eines der Teilstriche des einen Mikroskops von einem des andern wird an einem Normalstab gemessen, der auf eine etwas unterhalb des Fernrohrlagers einzusetzende Welle (*h*) und in eine auf der anderen Seite befindliche Nute (*i*) gelegt wird. Er trägt zwei feine Teilungen (g_1 und g_2) in 0,2 mm; schätzbar ist also 0,002 mm. Auf die Magnetlager werden Stäbe gelegt, die in der Mitte ebenfalls eine Teilung (*k*) tragen, die durch die an dem Arm befindlichen Mikroskope abgelesen werden, nachdem er um 90^0 geschwenkt ist. Das Mittel aus zwei durch Drehung der Lager um 180^0 erhaltenen Ablesungen ergibt die Lage des Drehpunktes; hieraus folgt dann die Summe der Entfernungen der Mittelpunkte der beiden Lager zum Nadelmittelpunkt. Die einzelnen Entfernungen (e_1 und e_2) gewinnt man, falls die Nadel sich nicht genau in der Mitte befindet, aus

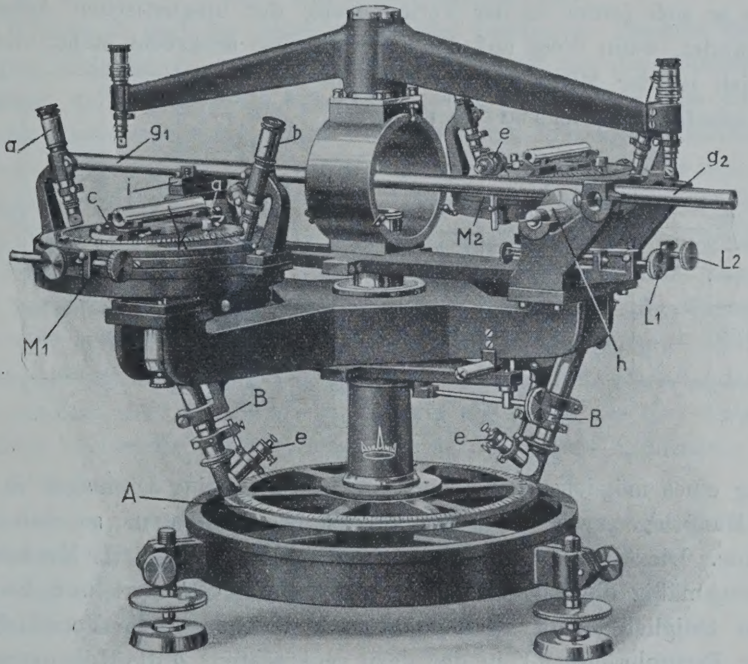


Abb. 4.

$$\frac{e_1^3}{e_2^3} = \frac{\sin u_2}{\sin u_1},$$

u_2, u_1 sind die Ablenkungswinkel in der ersten Lamontschen Hauptlage. Bei dem

geprüften Instrument betrug die Entfernung der Mikroskope $2l = 59{,}998$ cm. $e_1 + e_2$ war gleich $2l + 0{,}003$ cm, also

$$e_1 + e_2 = 60{,}001 \text{ cm}.$$

Nachdem der Theodolit (Nr. 81196 der Askaniawerke in Berlin-Friedenau) mittels der am Fernrohr befindlichen Libelle horizontal gestellt war, erfolgte zunächst die Bestimmung des Skalenwertes der Okularskala durch Einstellung auf den Faden eines Kollimators. Der durch Reduktion auf den Hauptteilkreis gefundene Wert stimmte genau mit dem Sollwert von 1',0 überein. Bei Spiegelung durch die Nadel beträgt also der Winkelwert eines Skalenteiles 0',50. Die am Kopf der Suspensröhre befindliche Einstellvorrichtung ermöglicht, wie bereits erwähnt, ein bequemes und genaues Aufsuchen der „zentralen Lage“, also der Stellung der Nadel, bei der ihr magnetischer Mittelpunkt in der horizontalen Symmetrieebene des Ablenkungsmagneten liegt, bei der er sich ferner in der Verlängerung der magnetischen Achse des Stabmagneten befindet, wenn diese auf der Fernrohrachse senkrecht steht, und bei der er sich schließlich in der Mitte zwischen beiden Drehlagern befindet. Man legt zu diesem Zweck

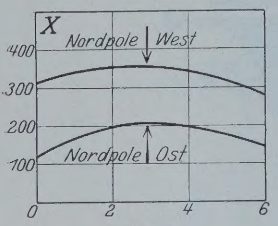


Abb. 5.

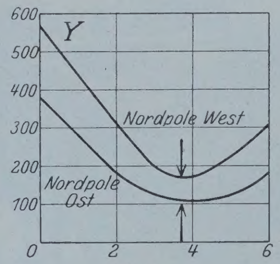


Abb. 6.

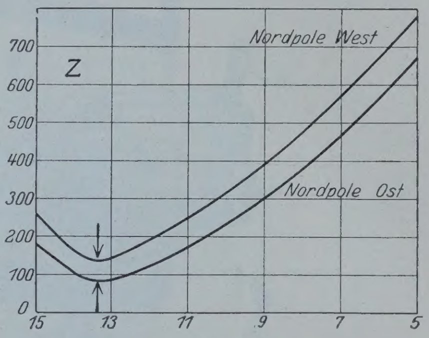


Abb. 7.

zur Erzielung eines möglichst homogenen Feldes auf beide Drehlager in erster Lamontscher Hauptlage zwei möglichst gleichstarke Magneten, so daß ihre Felder sich verstärken. Die Abb. 5, 6 und 7 geben die Ergebnisse dieser Messungen wieder. Man läßt zweckmäßig die Einstellung am Teilkreis unverändert und beobachtet die Einstellungen lediglich in der Okularskala. X bezeichnet die Verschiebung in der Richtung der Fernrohrachse, Y in der dazu senkrechten, Z die Höhenverstellung. Die Zahlenwerte der Abszissen entsprechen Millimetern, die Ordinaten sind Sekunden. Die Möglichkeit, die Nadel in den drei senkrechten Koordinatenachsen zu verschieben, gestattet ferner die Prüfung auf Eisenfreiheit des Gehäuses. Es ließ sich keine schädliche Beeinflussung nachweisen.

Die Beschreibung der Messung von $\frac{M}{H}$ kann übergangen werden, da sie sich nur darin von der mit dem üblichen Theodolitenmodell vorgenommenen unterscheidet, daß statt des Umlegens oder außer dem Umlegen des Magneten eine Drehung des Lagers um 180^0 erfolgt. Dagegen verlangt die Bestimmung der Parameter eines Magneten, also des Polabstandes und der höheren Glieder, mithin gerade die Ausnutzung des dem Theodoliten Charakteristischen bei der beabsichtigten Schärfe der Messung die Berücksichtigung einer Reihe von Korrektionen, ferner verschafft die Praxis gewisse, das Verfahren und die Berechnung vereinfachende Hilfsmittel, so daß die Wiedergabe einer vollständigen Messung nicht unzweckmäßig erscheint. Allerdings war es, da keine geeignete Nadel mit 4 Spiegeln zur Verfügung stand, nur möglich, die Beobachtungen in der Stellung $\varphi = 90^0$ (vgl. Abb. 8) auszuführen.

Nach Festlegung der Meridianstellung wurde der zu untersuchende Stabmagnet auf das eine Drehlager gelegt, und zwar in 1. Lamontscher Hauptlage mit dem Südpol nach Osten. Vorher waren die Einstellungen des Drehlagers ermittelt, bei denen die Ablenkungen ein Maximum (absolut genommen) bzw. 0 waren. Diese wichen nur wenige Minuten von den mit 0^0 (180^0) bzw. 90^0 (270^0) bezeichneten Teilstrichen ab. Bei Drehungen um die Längsachse des Magneten ergeben sich natürlich infolge seiner Kollimation etwas voneinander abweichende Einstellungen. Weicht die magnetische Achse von der geometrischen nur wenig ab, so ist die dem Mittelwert entsprechende Einstellung hinreichend genau.

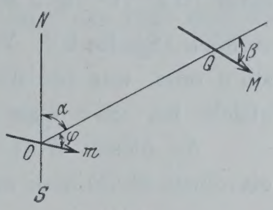


Abb. 8.

Zwei verschiedene Meßfolgen wurden angewandt. Bei der einen wurde das Lager um je 30^0 weitergedreht, also der Teilkreis auf 0^0, 30^0, $60^0, \ldots, 330^0$ und 360^0 eingestellt (den Werten des Winkels β) und der Ablenkungswinkel bestimmt. Dieselbe Meßreihe wurde mit umgelegten Ablenkungsmagneten (Drehung um 180^0 um die geometrische Längsachse) ausgeführt und beide Beobachtungssätze vom anderen Drehlager aus wiederholt. Zwischen jeder Reihe erfolgte jedesmal die Festlegung der Meridianstellung.

Die andere Meßfolge, die jedesmal auf 0^0 und 180^0 (1. Lamontsche Hauptlage) als Normallagen zurückgeht, ergibt größere Genauigkeit, gestaltet sich aber umfangreicher. Tab.1 (S. 10) enthält die vollständige Messung. Da der Hauptteilkreis eine Teilung in Minuten und Sekunden besitzt[3]), der Skalenwert der Okularskala dagegen $0',5$ beträgt, ist es vorteilhaft, jedesmal bei unveränderter Einstellung des Theodolits an der Okularskala drei Ablesungen vorzunehmen, deren 10fache Summe Sekunden ergibt. Man gewinnt dadurch neben der Bequemlichkeit der Zusammenfassung der Ablesungen am Teilkreis und an der Okularskala gleichzeitig das Mittel aus drei Ablesungen, also eine verschärfte Genauigkeit. Die so auf den Hauptteilkreis reduzierten Werte sind in Spalte c enthalten.

Die Reduktion auf eine normale Deklination (Spalte d der Tabelle 1) bedarf keiner besonderen Erörterung. Die Anbringung der H-Variationen sowie der Temperaturkorrektion des Ablenkungsmagneten läßt sich äußerst einfach gestalten, wenn man auf den Logarithmus des $\sin u$ (u Ablenkungswinkel) übergeht und die Entwicklung

$$\sin u = \text{Const}\,\frac{M}{H},$$

$$\log \sin u = \log \text{Const} + \log M - \log H,$$

$$d \log \sin u = \frac{dM}{M} - \frac{dH}{H}$$

zugrunde legt. Man gewinnt dadurch den Vorteil, daß der Ablesungswinkel selbst (bzw. tang u), der bei den vorliegenden Messungen in weiten Grenzen variiert, in die Korrektionen nicht eingeht, wie es bei der Reduktion des Sinus oder des Winkels selbst der Fall wäre.

Ist ε' der Skalenwert des Horizontalvariometers, $\Delta\nu$ die Abweichung vom Normalstand in Skalenteilen ($\Delta\nu = \nu - \nu_0$), und H_0 der normale Wert, so ist mithin wegen

---

[1]) Der bei dem untersuchten Theodoliten vorhandene Wert einer Drehung der Mikroskoptrommel von 2′ (Teilung des Teilkreises in 5′) kann nicht als vorteilhaft bezeichnet werden, da dies leicht zu Ablesefehlern führt.

der H-Variation log sin u um $\frac{\varepsilon'}{H} \varDelta \nu$ zu vergrößern, wobei $\varDelta \nu$ wegen Senkrechtlage und Temperatur des Variometers korrigiert ist (Spalte i).

Ist α der Temperaturkoeffizient des Magneten (also durchweg negativ, entsprechend den Gepflogenheiten der Physik), t die Abweichung von der Normaltemperatur ($\varDelta t = t - t_0$), M_0 sein Moment bei dieser, so ist zu log sin u: $-\frac{\alpha}{M_0} \varDelta t$ hinzuzufügen (Spalte k). Von dem so auf D, H und t reduzierten log sin u geht man auf sin u oder, was bei der hier benutzten Einstellung des Fernrohres auf die Nadel das gleiche ist, cos α über (Spalte n).

An diesen Wert ist die Korrektion wegen der verschiedenen Induktion bei den einzelnen Stellungen anzubringen. Sie beträgt für die Längsinduktion

$$p\, e^{-3} \cos(\alpha + \beta)\, \Phi(\beta),$$

für die Querinduktion

$$q\, e^{-3} \sin(\alpha + \beta)\, \Phi(\beta - 90^0),$$

also in diesem Fall (für $\varphi = 90^0$) mit hinreichender Genauigkeit

$$-p\, e^{-3} \cos(\alpha + \beta) \cdot 2 \cos \beta \quad \text{und} \quad -q\, e^{-3} \sin(\alpha + \beta) \cdot 2 \cos(\beta - 90^0),$$

p und q bedeuten die induktiven Kapazitäten.

(Spalte o enthält die Summe der wegen der Längs- und Querinduktion entstehenden Korrektionen in Einheiten der 5. Dezimalen.)

Diese Größen erreichen nicht unbeträchtliche Beträge; ihr Einfluß auf die später zu berechnenden Glieder der trigonometrischen Reihe ist jedoch nicht allzu groß. Die harmonische Analyse dieser Korrektionsglieder allein liefert nämlich in Einheiten der fünften Stelle folgende Werte, die additiv in den endgültigen Koeffizienten enthalten sind:

Längsinduktion					Querinduktion				
a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
−19	−12	−8	−8	−3	0	0	+1	0	0
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
+2	+39	+4	−4	+2	0	−4	0	0	0

Hierin ist $p = 11{,}2$, $q = 1{,}2$ und die der Entwicklung zugrunde liegenden Ausdrücke

β	Längs- Induktion	Quer- Induktion
30°	+17	−4
60	+34	−5
90	0	0
120	−34	+5
150	−16	+4
180	+30	0
210	+32	−3
240	+41	−3
270	0	0
300	−41	+3
330	−56	+3
360	−30	0

Eine weitere Korrektion, die allerdings vermieden werden kann, ist erforderlich wenn die Richtung der Nadel stark von der Richtung der Fernrohrachse, bzw. der dazu Senkrechten abweicht, wenn also in der Okularskala, deren Nullpunkt in der Mitte liegt, große Werte abgelesen werden. Setzt man voraus, daß der Einstellung auf den Mittelstrich genau die Senkrechtstellung der Verbindungslinie der Mittelpunkte von Stab und Nadel entspricht, so führt folgende Überlegung zum Ziel: Ist γ der Winkel, um den die Nadel von der Fernrohrachse abweicht (nur der Fall $\varphi = 90^0$ sei betrachtet), u der Ablenkungswinkel, so ist

$$m H \sin(u + \gamma) + \frac{M \sin\beta \cdot m \sin\gamma}{e^3} = \frac{m M}{e^3} 2 \cos\beta ,$$

$$\sin(u + \gamma) + \frac{C}{2} \sin\beta \sin\gamma = C \cos\beta ,$$

worin

$$C = \frac{2 M}{e^3 H}$$

ist. Die Korrektion beträgt also

$$\frac{C}{2} \sin\beta \cdot \gamma = \frac{C}{2 \cdot 3438} \gamma^{(\prime)} \sin\beta$$

(Spalte q der Tab. 1).

Zu erwähnen ist ferner, daß bei längeren Beobachtungen lediglich mit Hilfe der Okularskala gemäß der Verstärkung oder Abschwächung, die das Feld in der Umgebung der Nadel durch den Ablenkungsmagneten erfährt, die Variationon entsprechend verkleinert oder vergrößert anzubringen sind.

Bemerkung. Da bei wiederholten Messungen mit demselben Magneten immer fast genau dieselben Winkel wiederkehren, kann man die Induktionskorrektionen ein für allemal berechnen, und zwar am besten sogleich für die Parameter selbst in der Form konst. p und konst. q.

Einen besonderen Vorzug bietet dieses Verfahren dann, wenn man p und q noch nicht genau kennt. Man kann den Einfluß der Ursachen der dafür angenommenen Werte auf die Schlußergebnisse leicht und genau beurteilen.

Beobachtet man, was das Normale ist, in beiden Hauptlagen, so gewinnt man sogar auf diesem Wege die Möglichkeit einer (allerdings nicht sehr scharfen) Bestimmung von p und q.

A. S.

Von den so reduzierten Werten von $\cos\alpha$ wurden die für dasselbe β auf ein bestimmtes Mittel von $\cos\alpha$ für $\beta = 0^0$ und 180^0, nämlich auf den Durchschnitt der einzelnen Mittelwerte, umgerechnet. Der Vergleich mit mehreren anderen Meßreihen zeigte nämlich deutlich, daß die Unterschiede in fünfter Stelle des $\cos\alpha$ keineswegs nur den Meßfehlern zuzuschreiben, vielmehr auf reelle Ursachen, in erster Linie auf die Änderung des Moments des Magneten, zurückzuführen sind, daß mithin eine bloße Mittelung aller entsprechenden Werte nicht angängig ist. Und gerade hierin zeigt sich der große Vorzug dieser Meßfolge, weil durch das stete Zurückgehen auf $\beta = 0^0$ und 180^0 vor und nach der verhältnismäßig nur geringe Zeit beanspruchenden Beobachtung der Zwischenwerte eine Änderung des Moments scharf erfaßt werden kann. Ferner gestattet die Reduktion auf ein bestimmtes Mittel von $\cos\alpha$ für $\beta = 0^0$ und 180^0 auch die Zusammenfassung zeitlich weit auseinanderliegender Messungen. Tab. 2 (S. 12) enthält die dementsprechend berechneten Werte, die dann der harmonischen Analyse unter-

Tabelle

Lage des Magneten	β	Ablesung am Teilkreis (Okularskala berücksichtigt)	$\varDelta D$	$[c-d]$	Ablenkungswinkel u	Temperatur des Magneten	log sin u
a	b	c	d	e	f	g	h
	Meridian	116° 45′ 25″	3′ 22″	116° 42′ 3″			
o	0°	96 10 31	3 2	96 7 29	+ 20° 34′ 30″	18,0° C	9,545843
	120	126 32 8	2 58	126 29 10	— 9 47 11	18,0	9,230386
	240	126 22 8	2 46	126 19 22	— 9 37 23	18,0	9,223147
	60	107 7 3	2 12	107 4 51	+ 9 37 8	18,0	9,222960
	300	106 55 5	2 0	106 53 5	+ 9 48 54	18,0	9,231642
	180	137 12 38	1 50	137 10 48	— 20 28 49	18,0	9,543925
	Meridian	116 43 32	1 38	116 41 54			
u	180	137 11 52	1 10	137 10 42	— 20 28 43	18,0	9,543891
	300	106 55 31	0 58	106 54 33	+ 9 47 26	18,05	9,230569
	60	107 4 9	0 44	107 3 25	+ 9 38 34	18,05	9,224027
	240	126 21 13	0 22	126 20 51	— 9 38 52	18,0	9,224250
	120	126 29 35	0 0	126 29 35	— 9 47 36	18,0	9,230691
	0	96 7 42	— 0 2	96 7 44	+ 20 34 15	18,0	9,545759
	Meridian	116 41 42	— 0 10	116 41 52			
o	0	96 7 18	— 0 40	96 7 58	+ 20 34 1	18,15	9,545680
	150	134 9 37	— 0 52	134 10 29	— 17 28 30	18,15	9,477540
	210	134 2 9	— 0 38	134 2 47	— 17 20 48	18,20	9,474438
	30	99 16 34	— 0 42	99 17 16	+ 17 24 43	18,15	9,476019
	330	99 9 13	— 0 52	99 10 5	+ 17 31 54	18,15	9,478902
	180	137 9 13	— 1 2	137 10 15	— 20 28 16	18,15	9,543739
	Meridian	116 40 35	— 1 42	116 42 17			
u	180	137 8 7	— 2 2	137 10 9	— 20 28 10	18,2	9,543705
	330	99 8 41	— 2 4	99 10 45	+ 17 31 14	18,25	9,478636
	30	99 14 12	— 2 42	99 16 54	+ 17 25 5	18,3	9,476167
	210	134 1 10	— 2 46	134 3 56	— 17 21 57	18,3	9,474903
	150	134 6 14	— 2 58	134 9 12	— 17 27 13	18,3	9,477025
	0	96 5 2	— 3 2	96 8 4	+ 20 33 55	18,35	9,545646
	Meridian	116 38 26	— 3 32	116 41 58			
o	0	96 4 49	— 3 34	96 8 23	+ 20 33 36	18,45	9,545540
	90	116 45 42	— 3 56	116 49 38	— 0 7 39	18,45	7,347387
	270	116 32 25	— 4 6	116 36 31	+ 0 5 28	18,55	7,201449
	180	137 5 22	— 4 32	137 9 54	— 20 27 55	18,55	9,543621
	Meridian	116 37 8	— 4 44	116 41 52			
u	180	137 4 58	— 4 52	137 9 50	— 20 27 51	18,55	9,543598
	270	116 33 15	— 4 50	116 38 5	+ 0 3 54	18,55	7,054791
	90	116 43 18	— 4 48	116 48 6	— 0 6 7	18,5	7,250241
	0	96 3 42	— 4 56	96 8 38	+ 20 33 21	18,55	9,545456
	Meridian	116 36 54	— 5 0	116 41 54			

1.

$\frac{\Delta H}{H_0} \cdot 10^6$	$-\frac{\Delta M}{M_0} \cdot 10^6$ $(t_0 = 21^0)$	$[i - k]$	log sin u_0	$\sin u_0 = \cos \alpha_0$	Korrektion wegen Induktion	$\cos \alpha_{red}$	$\frac{C}{2} \sin \beta \cdot \gamma \cdot 10^5$
i	k	l	m	n	o	p	q
— 981	— 876	— 1857	9,543 986	+0,34 993	— 30	+0,34 963	
— 931	— 876	— 1807	9,228 579	—0,16 927	— 34	—0,16 961	+ 1
— 949	— 876	— 1825	9,221 322	—0,16 646	+ 41	—0,16 605	
— 933	— 876	— 1809	9,221 151	+0,16 640	+ 34	+0,16 674	
— 936	— 876	— 1812	9,229 830	+0,16 976	— 41	+0,16 935	+ 2
— 901	— 876	— 1777	9,542 148	—0,34 846	+ 30	—0,34 816	
— 902	— 876	— 1778	9,542 113	—0,34 843	+ 30	—0,34 813	
— 898	— 861	— 1759	9,228 810	+0,16 936	— 41	+0,16 895	
— 856	— 861	— 1717	9,222 310	+0,16 684	+ 34	+0,16 718	
— 894	— 876	— 1770	9,222 480	—0,16 691	+ 41	—0,16 650	
— 878	— 876	— 1754	9,228 937	—0,16 941	— 34	—0,16 975	+ 1
— 840	— 876	— 1716	9,544 043	+0,34 998	— 30	+0,34 968	
— 873	— 832	— 1705	9,543 975	+0,34 993	— 30	+0,34 963	
— 840	— 832	— 1672	9,475 868	—0,29 914	— 16	—0,29 930	
— 880	— 818	— 1698	9,472 740	—0,29 697	+ 32	—0,29 665	
— 888	— 832	— 1720	9,474 299	+0,29 806	+ 17	+0,29 823	
— 885	— 832	— 1717	9,477 185	+0,30 004	— 56	+0,29 948	
— 851	— 832	— 1683	9,542 056	—0,34 838	+ 30	—0,34 808	
— 816	— 818	— 1634	9,542 071	—0,34 839	+ 30	—0,34 809	
— 848	— 803	— 1651	9,476 985	+0,29 991	— 56	+0,29 935	
— 831	— 788	— 1619	9,474 548	+0,29 823	+ 17	+0,29 840	
— 859	— 788	— 1647	9,473 256	—0,29 734	+ 32	—0,29 702	
— 826	— 788	— 1614	9,475 411	—0,29 882	— 16	—0,29 898	
— 838	— 774	— 1612	9,544 034	+0,34 997	— 30	+0,34 967	
— 842	— 745	— 1587	9,543 953	+0,34 991	— 30	+0,34 961	
— 791	— 745	— 1536	7,345 851	—0,00 222	0	—0,00 222	
— 751	— 715	— 1466	7,199 983	+0,00 158	0	+0,00 158	
— 732	— 715	— 1447	9,542 174	—0,34 848	+ 30	—0,34 818	
— 702	— 715	— 1417	9,542 181	—0,34 848	+ 30	—0,34 818	
— 721	— 715	— 1436	7,053 355	+0,00 113	0	+0,00 113	— 1
— 721	— 730	— 1451	7,248 790	—0,00 177	0	—0,00 177	
— 720	— 715	— 1435	9,544 021	+0,34 996	— 30	+0,34 966	

worfen wurden, Spalte 2 dieser Tabelle die Werte für je zwei Lagen, bei denen die Richtung der Achse die gleiche, der Magnet aber um diese um 180° gedreht war. (In Tabelle 1 Spalte a mit o und u bezeichnet), Spalte 3 das Mittel aus den beiden also die endgültigen Werte von $\cos\alpha$.

Tabelle 2.

β	$\cos\alpha$	o / u	$\cos\alpha$	
1	2		3	
30°	+ 0,29	826 840	+ 0,29	833
60	+ 0,16	674 718	+ 0,16	696
90	— 0,00	222 177	— 0,00	200
120	— 0,16	960 974	— 0,16	967
150	— 0,29	933 898	— 0,29	916
180	— 0,34	814	— 0,34	814
210	— 0,29	668 702	— 0,29	685
240	— 0,16	605 650	— 0,16	628
270	+ 0,00	158 112	+ 0,00	135
300	+ 0,16	937 895	+ 0,16	916
330	+ 0,29	951 935	+ 0,29	943
360	+ 0,34	964	+ 0,34	964

Die Entwicklung dieser 12 Werte in eine trigonometrische Reihe liefert a_1 bis a_5 (die Koeffizienten der cos-Glieder) und b_1 bis b_5 (die Koeffizienten der sin-Glieder) (Tabelle 3). Zur weitereren Berechnung kommt nur a_1, a_3 und a_5 in Betracht. Die übrigen Glieder werden verhältnismäßig klein und können insbesondere zur Ermittlung des Winkels zwischen der magnetischen und geometrischen Achse, sowie der Exzentrizität des magnetischen Mittelpunktes des Magnets herangezogen werden.

Tabelle 3.

a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
+ 0,34460	+ 0,00049	+ 0,00428	— 0,00002	+ 0,00000$_3$
b_1	b_2	b_3	b_4	b_5
— 0,00165	+ 0,00035	— 0,00001	0,00000	— 0,00004

Aus den Formeln, die in der schon erwähnten grundlegenden Abhandlung[1]) angegeben sind,

[1]) Adolf Schmidt, Über die Bestimmung der Parameter von Stabmagneten. *Bericht über die Tätigkeit des Preuß. Meteorolog. Instituts im Jahre 1926, S. 42—58.*

$$a_5 = \mu \frac{189}{65} B'',$$

$$a_3 = \mu \left(\frac{5}{2} B' - \frac{105}{64} B'' - \frac{195}{8} B' b' \right),$$

$$a_1 = \mu \left(2 + \frac{3}{2} B' - 6 b' + \frac{45}{32} B'' - \frac{45}{8} B' b' + \frac{45}{4} b'' \right)$$

ergibt sich μ, B', B'', wenn b' und b'' bekannt sind. Alle Konstanten lassen sich nur aus der Kombination der Beobachtungsserien $\varphi = 0^0$ und $\varphi = 90^0$ bestimmen.

Im vorliegenden Falle konnte, da B'' fast null ist, b'' vernachlässigt werden, und für b' auf die in früheren Messungen ermittelte und den Größenverhältnissen entsprechende Beziehung $b' = 0{,}22 B'$ zurückgegriffen werden. Hiernach ergab sich für den einen Hauptmagnet aus den oben mitgeteilten Werten:

$$B' = 0{,}010043,$$

$$C' = B' e^2 = 9{,}024, \qquad \text{mit } e = 29{,}976 \text{ cm},$$

$$d = \sqrt{C'} = 3{,}004 \text{ cm},$$

also für den Polabstand: $2d = 6{,}008$ cm.

Da die Länge des Magneten 7,484 cm beträgt, so folgt daraus für den Quotienten aus Polabstand und Länge 0,803. Der früher gefundene Wert p der Ablenkungsfunktion $\left[1 + \frac{p}{e^2} + \frac{q}{e^4}\right]$ ist jedoch mit dem sich hier ergebenden Polabstand nur vereinbar, wenn man einen erheblich kleineren Polabstand der Nadel zugrunde legt, als er dem Längenverhältnis von Stab und Nadel entspricht. Dieses ist keineswegs unwahrscheinlich, wenn man bedenkt, daß ein kugelförmiger Magnet den Polabstand null hat; die Nadel besitzt nämlich einen im Verhältnis zu ihrer Länge recht bedeutenden Querschnitt. Gerade dieses Ergebnis zeigt, wenn es auch infolge des Fehlens der anderen Messung mit einer Nadel, die entsprechend der Abb. 9 vier Spiegel trägt, nur qualitativ zutage tritt, daß die Grundlagen der Messungen der Horizontalintensität durch diese Methode erheblich verbessert werden können.

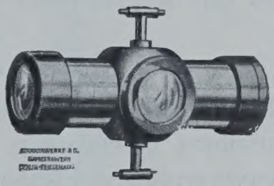


Abb. 9.

Bemerkung. Eine anschauliche Vorstellung von der zu erwartenden Genauigkeit der Schlußergebnisse gewinnt man, wenn man die beobachteten Winkel mit denen vergleicht, die dem durch das Verschwinden sämtlicher Parameter (außer dem Moment) charakterisierten Falle von Elementarmagneten entsprechen. Bezeichnet man die ersteren durch u, die letzteren durch u_0, und nimmt man für die Hauptlage (d. i. für $\beta = 0$) beide gleich an, so erhält man im vorstehenden Beispiel für

β	0^0	30^0	60^0
u_0	$20^0 19',0$	$17^0 30',0$	$9^0 59',9$
u	$20^0 19',0$	$17^0 16',8$	$9^0 37',7$
Differenz	0,0	$13',2$	$22',2$

Diese Winkeldifferenzen sind die eigentliche Beobachtungsgrundlage, auf der die Bestimmung der Parameter beruht. Geht man dabei bis zur ersten Ordnung, so ist insbesondere B' sehr nahe durch die Beziehung

$$B' = \frac{4}{15} \cot u(60^0)\,[u_0(60^0) - u(60^0)]$$

gegeben. Die relative Genauigkeit, mit der sich B' bestimmen läßt, kommt also derjenigen der Winkeldifferenz gleich.

Es ist von Wert, das übliche Verfahren, das Beobachtungen aus zwei Entfernungen benutzt, zum Vergleich heranzuziehen. Die beiden Entfernungen seien 30 und 40 cm, die zugehörigen Ablenkungswinkel u, wenn derselbe Magnet wie im vorstehenden benutzt wird, dagegen seien sie u_0 für Elementarmagnete, dann ergibt sich für

e	30 cm	40 cm
u_0	$20^0\,19',0$	$8^0\,25',4$
u	$20^0\,19',0$	$8^0\,22',1$
Differenz	0,0	$3',3$

Die Differenz $u - u_0$, auf der letzten Endes die Bestimmung von B' und b' (die hier in der Verbindung $2\,B' - 3\,b'$ auftreten) beruht, ist also hier rund siebenmal so klein, wie bei dem anderen Verfahren, und jene Bestimmung im gleichen Verhältnis ungenauer.

Wichtiger noch, als dieses beträchtliche Übergewicht an unmittelbarer Meßgenauigkeit, das durch Vermehrung der Beobachtungen auf der anderen Seite ausgeglichen werden könnte, ist bei den neueren Verfahren der Umstand, daß sich durch Benutzung weiterer Werte von β die innere Genauigkeit, die in der Verwendung weiterer Reihenglieder zum Ausdruck kommt, grundsätzlich unbeschränkt steigern läßt, während das übliche Verfahren diese Möglichkeit nicht bietet. Man kann zwar durch die Benutzung von mehr als zwei Entfernungen auch die Zahl der zu bestimmenden Parameter erhöhen, aber die Elimination gestaltet sich immer ungünstiger und damit der Einfluß der Beobachtungsfehler auf die Ergebnisse immer größer, so daß schon bei drei Entfernungen kaum noch Werte von sachlicher Bedeutung erhalten werden.

A. S.

Die vorstehend mitgeteilten Ergebnisse dürften zur Urteilsbildung über den Wert des Verfahrens, sowie des Instrumentes ausreichen, jedoch ist bei der kritischen Beurteilung besonders zu berücksichtigen, daß die durch die Potsdamer Straßenbahn hervorgerufenen vagabundierenden Ströme die Genauigkeit der Messungen herabsetzen.

Der Einfluß der Federmassen auf die dynamischen Eigenschaften von Indikatoren.

Von

Dr.-Ing. **Otto Holm** in Hamburg.

Bekanntlich werden die dynamischen Eigenschaften eines Indikators grundlegend durch seine Eigenschwingungszahl bestimmt. Besonders beim Indizieren schnell wechselnder, periodisch wiederkehrender Druckvorgänge in elastischen Medien (schnellaufende Verbrennungskraftmaschinen!) ist eine möglichst hohe Eigenschwingungszahl des federnd aufgehängten beweglichen Schreibhebelsystems maßgebend für die Brauchbarkeit des Indikators überhaupt. Wie schon an anderer Stelle gezeigt ist[1]), kommt es hierbei auf das Verhältnis der Eigenschwingungszahl des Indikators zur Frequenz des Druckwechselvorganges im elastischen Medium an (Motordrehzahl!).

---

[1]) Wilke, Untersuchungen über die Grenzen der Verwendbarkeit des Indikators bei schnelllaufenden Maschinen für elastische Medien. *Der Ölmotor, Jahrg. V, Nr. 5—6.*

Hohe Eigenschwingungszahlen eines federnden Massensystems erreicht man bekanntlich unter sonst gleichen Verhältnissen durch möglichst weitgehende Verringerung der bewegten Massen. Zu diesen liefert die Feder selbst, da sie sich auch bewegt, einen mehr oder weniger großen Anteil. Die auf den Indikatorkolben reduzierte Masse der Feder muß also so klein wie möglich, oder, was auf dasselbe hinauskommt, ihre Eigenschwingungszahl muß so groß wie möglich sein.

Bekanntlich sind neuerdings einige Indikatoren bauende Firmen bei ihren neuen Instrumenten, die zum Indizieren sehr schnellaufender Verbrennungsmotoren dienen sollen, dazu übergegangen, die bisher üblichen Schraubenfedern durch Stabfedern zu ersetzen (Maihak, Schäffer & Buddenberg). Bestimmend für diese konstruktive Änderung ist wohl hauptsächlich die Rücksicht auf die gegenüber der Schraubenfeder viel bequemere Auswechselbarkeit der Stabfeder gewesen. Bei der Stabfeder ist dieses ohne weiteres möglich, ohne das Oberteil des Indikatorgehäuses mit der Feder, dem Schreibzeug usw. loszunehmen und auseinanderzuschrauben. (Siehe Abb. 1.)

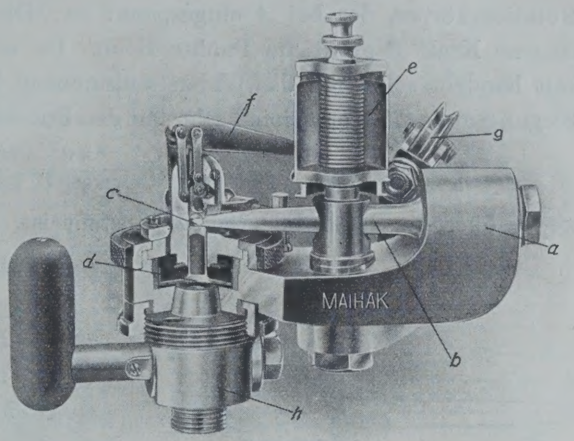


Abb. 1.

Abb. 2 zeigt dagegen einen Indikator mit außen liegender Schraubenfeder üblicher Ausführung. Wie man aus der Abbildung entnehmen kann, ist das frei bewegliche Ende der Feder durch eine Schraubenverbindung mit der aufgeschlitzten Kolbenstange verbunden, in der es festgeklemmt wird. Diese Art der Verbindung, die sich kaum anders ausbilden läßt, bedingt ein gegenüber der Stabfeder etwas umständlicheres und zeitraubenderes Auswechseln der Feder. Außerdem erhöht die Masse der Klemmutter das Gestängegewicht.

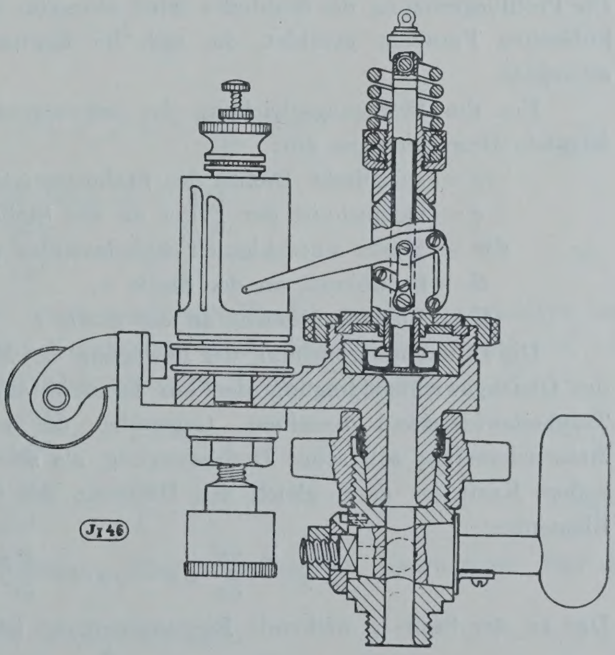


Abb. 2.

Das dynamische Verhalten der Stabfedern und der Schraubenfedern soll im folgenden näher untersucht werden.

Abb. 2 und Abb. 3 zeigen die üblichen Ausführungsformen einer Stabfeder und einer Schraubenfeder. Beide sind annähernd als Körper gleicher Festigkeit ausgebildet. Bei der Schraubenfeder wird diese Bedingung ohne weiteres durch eine gleich-

bleibende Drahtstärke erreicht, während die Stabfeder sich naturgemäß nach dem Ende zu verjüngt.

1. Stabfeder.

Den Belastungsfall an einer Stabfeder zeigt Abb. 5. Die Feder selbst sei ein Rotationskörper, der bei A eingespannt ist. Die von der Indikatorkolbenstange übertragene Kraft P greift am Punkte B an. Da es sich um einen Körper gleicher Festigkeit handeln soll, muß das Widerstandsmoment W in einem beliebigen Querschnitt dem Biegungsmoment proportional sein. Mit den Bezeichnungen der Abbildung erhält man also:

$$W = \frac{\pi u^3}{32} = \frac{P \cdot x}{k_b}, \tag{1}$$

wo k_b über die ganze Federlänge konstant ist.

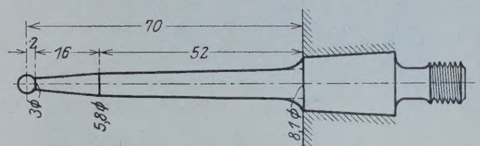


Abb. 3. Stabfeder, 1 mm/at, Kolben 20,27 ⌀.

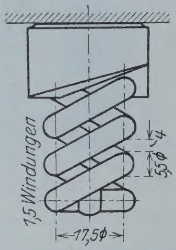


Abb. 4. Schraubenfeder, 1 mm/at, Kolben 20,27 ⌀.

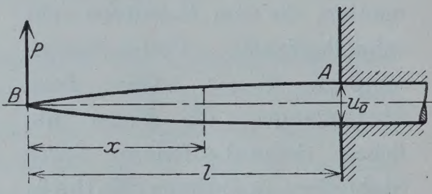


Abb. 5.

Aus 1):

$$u = \sqrt[3]{\frac{32\,P}{\pi\,k_b}} \cdot x. \tag{2}$$

Die Profilbegrenzung der Stabfeder wird also von 2 zur Abszissenachse symmetrischen kubischen Parabeln gebildet, die sich im Kraftangriffspunkt in der Abszissenachse schneiden.

Um die Bewegungsgleichung der schwingenden Feder aufzustellen, führen wir folgende Bezeichnungen ein:

ϱ = spezifische Dichte des Stabmaterials,
q = Querschnitt der Feder an der Stelle x,
dm = Masse eines kleinen Stabelementes an der Stelle x von der Länge dx,
S = Schubkraft an der Stelle x,
M = Biegungsmoment an der Stelle x.

Die Differentialgleichung der Bewegung des Massenelementes dm erhält man aus der Gleichgewichtsbedingung der am Element angreifenden äußeren Kraft und dem Trägheitswiderstand desselben. Gegenüber der schwingenden Vertikalbewegung des Massenelementes soll seine Drehbewegung als sehr klein vernachlässigt werden. Die äußere Kraft ist dann gleich der Differenz der Schubkräfte an den Endflächen des Elementes:

$$\frac{\partial S}{\partial x} \cdot dx - \varrho q \cdot dx \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \tag{3}$$

Das an der Stelle x wirkende Biegungsmoment ist:

$$M = E \cdot J \cdot \frac{\partial^2 y}{\partial x^2}, \tag{4}$$

$$S = -\frac{\partial M}{\partial x}, \tag{5}$$

$$\frac{\partial S}{\partial x} = -\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} = -EJ \cdot \frac{\partial^4 y}{\partial x^4}. \tag{6}$$

Diesen Wert setzen wir in die Gleichung 3) ein:

$$-E\frac{\partial^4 y}{\partial x^4}\cdot dx+\frac{\varrho\cdot q\cdot dx}{J}\cdot\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=0, \qquad 7)$$

$$E\frac{\partial^4 y}{\partial x^4}+\frac{\varrho\cdot q}{J}\cdot\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=0. \qquad 8)$$

Mit Gleichung 2):

$$\frac{q}{J}=\frac{\pi u^2\cdot 64}{4\cdot\pi u^4}=\frac{16}{u^2}=16\sqrt[3]{\left(\frac{\pi k_b}{32 P}\right)^2\cdot\frac{1}{x^2}}. \qquad 9)$$

Der Einfachheit halber bezeichnen wir den konstanten Faktor $16\varrho\sqrt[3]{\left(\frac{\pi k_b}{32 P}\right)^2}$ mit C_1.

$$\frac{q}{J}=\frac{C_1}{\varrho}\cdot x^{-\frac{2}{3}}. \qquad 10)$$

Einsetzen in 8):

$$E\cdot\frac{\partial^4 y}{\partial x^4}+C_1 x^{-\frac{2}{3}}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=0. \qquad 11)$$

Wir setzen versuchsweise ein partikuläres Integral an von der Form

$$y=XT, \qquad 12)$$

wo X und T Funktionen von x bzw. t allein bedeuten. Durch Differenzieren der Gleichung 12) erhält man

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4}=\frac{\partial^4 X}{\partial x^4}\cdot T \qquad 13)$$

und

$$\frac{\partial^2 y}{\partial t^2}=X\frac{\partial^2 T}{\partial t^2}. \qquad 14)$$

Einsetzen in Gleichung 11):

$$E\cdot\frac{\partial^4 X}{\partial x^4}\cdot T+C_1 x^{-\frac{2}{3}}\cdot X\cdot\frac{\partial^2 T}{\partial t^2}=0. \qquad 15)$$

Wir dividieren die ganze Gleichung durch $X\cdot T\cdot x^{-\frac{2}{3}}$:

$$\frac{E x^{\frac{2}{3}}}{X}\cdot\frac{\partial^4 X}{\partial x^4}+C_1\cdot\frac{1}{T}\cdot\frac{\partial^2 T}{\partial t^2}=0. \qquad 16)$$

Die Differentialgleichung ist erfüllt, wenn man beide Glieder gleich dem positiven bzw. negativen Wert ein und derselben Konstanten setzt. Dieselbe sei gleich $-C_1\cdot k^2$. Wir erhalten dann zwei Differentialgleichungen von T und X allein:

$$\frac{d^2 T}{dt^2}+k^2 T=0, \qquad 17)$$

$$\frac{x^{\frac{2}{3}}\,d^4 X}{dx^4}-\frac{C_1 k^2}{E}\cdot X=0. \qquad 18)$$

Gleichung 17) ist die bekannte Gleichung einer ungedämpften Schwingung. Das allgemeine Integral lautet:

$$T=a\cos kt+b\sin kt. \qquad 19)$$

Gleichung 18) hat vier partikuläre Lösungen von der Form:

$$e^{-f(x)};\qquad e^{+f(x)};\qquad e^{-if(x)};\qquad e^{+if(x)}. \qquad 20)$$

$f(x)$ ist eine Funktion von x. Dieselbe ist so zu wählen, daß bei viermaligem Differenzieren, also Bilden des Differentialquotienten $\frac{d^4 X}{dx^4}$, vor der Potenzfunktion $e^{f(x)}$ ein

Ausdruck erscheint, der sich gegen den Faktor $-\frac{C_1 k^2}{E} \cdot x^{-\frac{2}{3}}$ des zweiten Gliedes der Gleichung 18) weghebt. Wie leicht einzusehen ist, ist diese Forderung streng nicht zu erfüllen. Wenn sie erfüllbar wäre, dann käme für $f(x)$ nur eine Potenzfunktion in Frage, denn nur eine solche liefert beim Differenzieren wieder eine Potenzfunktion. Bei mehrmaligem Differenzieren der Ausdrücke unter 20) entsteht aber stets die Summe mehrerer Potenzfunktionen mit verschiedenen Exponenten als Faktor vor $e^{f(x)}$, die niemals mit einer einzigen Potenzfunktion identisch werden können. Eine strenge Lösung der Differentialgleichung ist also nicht möglich.

Es bleibt der Ausweg, zu versuchen, für $f(x)$ einen solchen Ausdruck zu finden, daß die Funktion $\psi(x)$ in dem durch Differenzieren zu bildenden Differentialquotienten

$$\frac{d^4 X}{dx^4} = \psi(x)\, e^{f(x)} \qquad 21)$$

in dem interessierenden Bereich mit der Funktion $\frac{C_1 k^2}{E} \cdot x^{-\frac{2}{3}}$ einen möglichst schmalen Funktionsstreifen gemeinsam hat.

Wir machen versuchsweise den Ansatz:

$$f(x) = w \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right). \qquad 22)$$

Ein partikuläres Integral von X ist dann

$$X = e^{w \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right)}. \qquad 23)$$

Durch Differenzieren berechnen wir hieraus $\frac{d^4 X}{dx^4}$:

$$\frac{dX}{dx} = \frac{w m}{l} \operatorname{Cof}\left(\frac{m x}{l} + a\right) e^{w \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right)}; \qquad 24)$$

$$\frac{d^2 X}{dx^2} = \frac{w^2 m^2}{l^2}\left[\operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right) + \operatorname{Cof}^2\left(\frac{m x}{l} + a\right)\right] e^{w \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right)}; \qquad 25)$$

$$\frac{d^3 X}{dx^3} = \frac{w^3 m^3}{l^3}\left[\operatorname{Cof}\left(\frac{m x}{l} + a\right) + 3 \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right) \operatorname{Cof}\left(\frac{m x}{l} + a\right) + \operatorname{Cof}^3\left(\frac{m x}{l} + a\right)\right] e^{w \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right)}; \qquad 26)$$

$$\begin{aligned}\frac{d^4 X}{dx^4} &= \frac{w^4 m^4}{l^4}\left[\operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right) + 3 \operatorname{Sin}^2\left(\frac{m x}{l} + a\right) + 4 \operatorname{Cof}^2\left(\frac{m x}{l} + a\right)\right.\\ &\quad \left. + 6 \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right) \operatorname{Cof}^2\left(\frac{m x}{l} + a\right) + \operatorname{Cof}^4\left(\frac{m x}{l} + a\right)\right] e^{w \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right)}\\ &= \frac{w^4 m^4}{l^4}\left[5 + 7 \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right) + 9 \operatorname{Sin}^2\left(\frac{m x}{l} + a\right) + 6 \operatorname{Sin}^3\left(\frac{m x}{l} + a\right)\right.\\ &\quad \left. + \operatorname{Sin}^4\left(\frac{m x}{l} + a\right)\right] e^{w \operatorname{Sin}\left(\frac{m x}{l} + a\right)}. \end{aligned} \qquad 27)$$

In der Abb. 6 ist der Klammerausdruck, den wir der Einfachheit halber mit $\varphi\left(\frac{m x}{l} + a\right)$ bezeichnen wollen, in Abhängigkeit von den Winkeln $\left(\frac{m x}{l} + a\right)$ als Abszissen als Kurve dargestellt. Durch geeignete Wahl von $\frac{m}{l}$ und a kann man erreichen,

daß die Funktion $\varphi\left(\frac{mx}{l}+a\right)$ in einem gewissen Bereich sehr genau mit der Funktion $\left(\frac{X}{l}\right)^{-\frac{2}{3}}$ zusammenfällt. Man sucht zu dem Zweck einen Kurvenabschnitt heraus, dessen Endordinaten zueinander im gleichen Verhältnis stehen wie die entsprechenden End ordinaten eines angenommenen Bereiches der Funktion, und dessen Pfeilhöhe über der die Endpunkte verbindenden Sehne einer entsprechenden Proportionalitätsforderung genügt. Den richtigen Kurvenabschnitt kann man systematisch durch Zeichnung ohne Probieren finden. Auf die Wiedergabe des Verfahrens muß hier verzichtet werden. Es ist natürlich nicht immer möglich, die Kurven in dem ganzen interessierenden Bereich miteinander genügend genau zur Deckung zu bringen, sondern man muß häufig in möglichst einflußlosen Randgebieten Abweichungen zulassen. Im vorliegenden Fall weicht die Näherungsfunktion z. B. in der Nähe des freien Federendes wesentlich von der richtigen Funktion ab, die hier unendlich groß wird. Da die reziproken Werte in der Rechnung maßgebend sind, ist der Einfluß dieser Abweichung trotzdem nicht bedeutend (siehe Abb. 7). Das passend gewählte Kurvenstück muß auf den richtigen Maßstab transformiert werden. Dabei geht man so vor, daß man 2 Punkte beiden Funktionen als gemeinsam vorschreibt. Wir bezeichnen die beiden gemeinsamen Punkte mit P_1 und P_2. Ihre Koordinaten seien x_1; y_1 und x_2; y_2 (Abb. 6). Dann bestehen die Beziehungen:

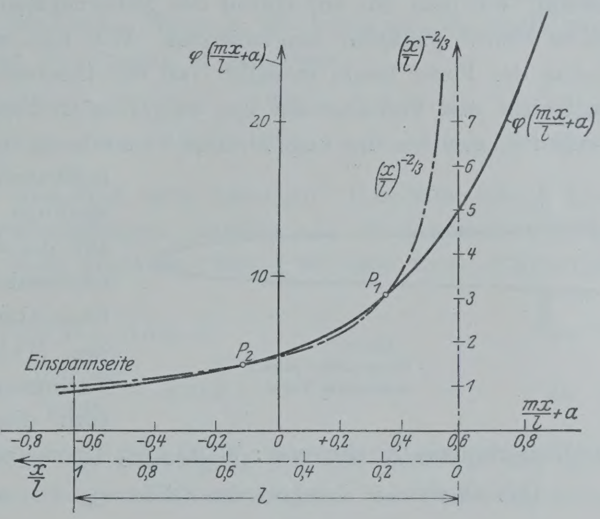


Abb. 6.

$$\frac{y_1}{l}=C_2\,\varphi\left(\frac{m x_1}{l}+a\right)=\left(\frac{x_1}{l}\right)^{-\frac{2}{3}} \tag{28}$$

und

$$\frac{y_2}{l}=C_2\,\varphi\left(\frac{m x_2}{l}+a\right)=\left(\frac{x_2}{l}\right)^{-\frac{2}{3}}. \tag{29}$$

C_2 ist eine Konstante. Aus diesen Gleichungen kann man dann C_2, m und a berechnen. Die Punkte P_1 und P_2 haben die Koordinaten:

$$x_1=0{,}194\,l;\qquad y_1=2{,}98\,l;\qquad \frac{m x_1}{l}+a=0{,}343, \tag{30}$$

$$x_2=0{,}562\,l;\qquad y_2=1{,}47\,l;\qquad \frac{m x_2}{l}+a=-0{,}115 \tag{31}$$

Der Parameter C_2 ist gleich 0,35. Aus 30) und 31) folgt weiter:

$$m=-1{,}245, \tag{32}$$

$$a=+0{,}585. \tag{33}$$

Wir setzen jetzt in die Differentialgleichung 18) für $x^{-\frac{2}{3}}$ den Näherungswert ein aus der Beziehung

$$x^{-\frac{2}{8}} = l^{-\frac{2}{3}} \cdot C_2 \cdot \varphi\left(\frac{m x}{l} + a\right) = 0{,}35\, l^{-\frac{2}{3}}\, \varphi\left(-1{,}245 \frac{x}{l} + 0{,}586\right); \qquad 34)$$

$$\frac{l^{-\frac{2}{3}}}{0{,}35\, \varphi\left(-1{,}245 \frac{x}{l} + 0{,}585\right)} \frac{d^4 X}{d x^4} - \frac{C_1 k^2}{E} X = 0. \qquad 35)$$

Um die Größe des durch die Substitution der Näherungsfunktion gemachten Fehlers zu veranschaulichen, ist in Abb. 7 der Profilumriß für eine Stabfeder mit Kreisquerschnitt, wie man ihn auf Grund der Näherungsfunktion erhielte, neben dem parabolischen Umriß punktiert eingezeichnet. Wie man sieht, weicht die Kurve nur an der Spitze der Feder kaum merklich von der theoretischen Kurve ab. Diese Abweichung entspricht den Verhältnissen von ausgeführten Federn, die am Ende auch nicht spitz verlaufen, sondern eine kugelförmige Verstärkung tragen, mit der sie ihre Kraft auf die Indikatorkolbenstange übertragen. Diese Verstärkung ist übrigens schon mit Rücksicht auf die Schubkräfte nötig. Die in Abb. 7 schematisch dargestellte Feder entspricht in ihren Abmessungsverhältnissen einer Stabfeder des Maihak-Indikators für schnellaufende Verbrennungsmotoren. Der Diagrammmaßstab dieser Feder ist 1 mm gleich 1 at (Indikatorkolben-Durchmesser: 20,27 mm, Übersetzung 1 : 8).

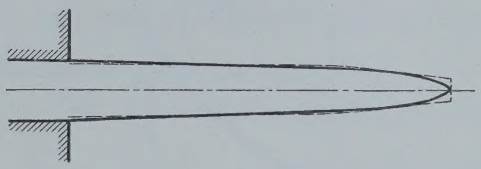


Abb. 7.
——— theoretische Form.
— — — berechnete Form.

Das allgemeine Integral der Gleichung 35) ist mit Gleichung 23):

$$X = A_1 e^{-w\, \mathfrak{Sin}\left(-1{,}245 \frac{x}{l} + 0{,}585\right)} + A_2 e^{+w\, \mathfrak{Sin}\left(-1{,}245 \frac{x}{l} + 0{,}585\right)}$$
$$+ A_3 e^{-i w\, \mathfrak{Sin}\left(-1{,}245 \frac{x}{l} + 0{,}585\right)} + A_3 e^{+i w\, \mathfrak{Sin}\left(-1{,}245 \frac{x}{l} + 0{,}585\right)}. \qquad 36)$$

Für $\mathfrak{Sin}\left(-1{,}245 \frac{x}{l} + 0{,}585\right)$ setzen wir der Kürze halber in den nächsten Gleichungen den Buchstaben β. Dieser Ausdruck läßt sich dann umformen in:

$$X = A \cos(w \beta) + B \sin(w \beta) + C\, \mathfrak{Cof}(w \beta) + D\, \mathfrak{Sin}(w \beta). \qquad 37)$$

Grenzbedingungen.

1. Einspannstelle: Für $x = 1$ muß $y = 0$ und $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$ sein (keine Bewegung, Tangente immer horizontal, da eingespannt!). Damit wird auch $X = 0$ und $\frac{d X}{d x} = 0$.

$$X: \quad A \cos(w\, \mathfrak{Sin} - 0{,}660) + B \sin(w\, \mathfrak{Sin} - 0{,}660) + C\, \mathfrak{Cof}(w\, \mathfrak{Sin} - 0{,}660)$$
$$+ D\, \mathfrak{Sin}(w\, \mathfrak{Sin} - 0{,}660)$$
$$= A \cos(-0{,}709\, w) + B \sin(-0{,}709\, w) + C\, \mathfrak{Cof}(-0{,}709\, w)$$
$$+ D\, \mathfrak{Sin}(-0{,}709\, w) = 0; \qquad 38)$$

$$\frac{d X}{d x}: \quad -A \sin(-0{,}709\, w) + B \cos(-0{,}709\, w) + C\, \mathfrak{Sin}(-0{,}709\, w)$$
$$+ D\, \mathfrak{Cof}(-0{,}709\, w) = 0. \qquad 39)$$

2. Freies Stabende: $x = 0$; $\beta = \sin 0{,}585 = 0{,}619$.

Am freien Stabende verschwinden die Momente und die Schubkräfte. Es werden also an dieser Stelle der zweite und dritte Differentialquotient von X nach $x = 0$.

$$\frac{d^2 X}{dx^2}: \quad -A\cos(0{,}619\,w) - B\sin(0{,}619\,w) + C\,\mathfrak{Cof}\,(0{,}619\,w) + D\,\mathfrak{Sin}\,(0{,}619\,w) = 0; \quad 40)$$

$$\frac{d^3 X}{dx^3}: \quad A\sin(0{,}619\,w) - B\cos(0{,}619\,w) + C\,\mathfrak{Sin}\,(0{,}619\,w) + D\,\mathfrak{Cof}\,(0{,}619\,w) = 0. \quad 41)$$

Eliminiert man aus drei der Gleichungen 38) bis 41) drei von den Integrationskonstanten A, B, C, D und setzt die erhaltenen Werte in die letzte ein, so erhält man die sogenannte Periodengleichung der Schwingung in der Form:

$$\cos(-0{,}709\,w - 0{,}619\,w)\,\mathfrak{Cof}\,(-0{,}709\,w - 0{,}619\,w) + 1 = 0, \quad 42)$$

$$\cos(+1{,}328\,w)\,\mathfrak{Cof}\,(+1{,}328\,w) + 1 = 0. \quad 43)$$

Diese Gleichung liefert für w unendlich viele Lösungen. Uns interessieren hier natürlich nicht die möglichen Oberschwingungen, sondern nur die Grundschwingung, für die w den kleinsten möglichen Wert annimmt. Dieser ist nach Lord Rayleigh im vorliegenden Fall:

$$+1{,}325\,w = 0{,}597\,\pi; \quad 44)$$

$$w = \frac{0{,}597 \cdot \pi}{1{,}328} = 1{,}414. \quad 45)$$

Wir setzen in die Differentialgleichung der Schwingung 35) den Ausdruck der Gleichung 27) ein und schreiben für den langen Klammerausdruck der Übersichtlichkeit halber entsprechend den Gleichungen 28) und folgende $\varphi\left(\frac{mx}{l} + a\right)$

$$\frac{w^4 m^4}{l^4}\,\varphi\left(\frac{mx}{l} + a\right) \cdot X \, \frac{l^{\frac{2}{3}}}{0{,}35\,\varphi\left(\frac{mx}{l} + a\right)} - \frac{C_1 k^2}{E} \cdot X = 0; \quad 46)$$

$$\frac{w^4 m^4 \cdot l^{-\frac{2}{3}}}{l^4 \cdot 0{,}35} - \frac{C_1 k^2}{E} = 0. \quad 47)$$

Mit $w = 1{,}414$, $m = -1{,}245$ und $C_1 = 16\,\varrho\,\sqrt[3]{\left(\frac{\pi k_b}{32\,P}\right)^2}$:

$$k^2 = \frac{1{,}71\,\sqrt[3]{\left(\frac{32\,P \cdot l}{\pi k_b}\right)^2} \cdot E}{l^4 \cdot \varrho}. \quad 48)$$

Bezeichnen wir den Durchmesser der Feder an der Einspannstelle mit u_0, dann ist $\frac{Pl}{k_b} = \frac{\pi u_0^3}{32}$. (Biegungsmoment durch Beanspruchung gleich Widerstandsmoment.) u_0 führen wir in die Gleichung 49) ein:

$$k^2 = \frac{1{,}71\,E u_0^2}{l^4 \cdot \varrho}; \qquad k = \frac{1{,}308\,u_0}{l^2}\sqrt{\frac{E}{\varrho}}. \quad 49)$$

Die Eigenschwingungszahl der Feder (vgl. Gleichung 17)) ist:

$$n = \frac{k}{2\pi} = \frac{0{,}208\,u_0}{l^2}\sqrt{\frac{E}{\varrho}}. \quad 50)$$

Die Ausgangspunkte für die Konstruktion einer Indikatorfeder sind die gewünschte maximale Durchbiegung, die sich aus der größten Diagrammhöhe und der Übersetzung des Schreibhebelgestänges ergibt, sowie die sogenannte Federkonstante, die entsprechend durch den Diagrammaßstab und die Größe des Indikatorkolbens gegeben ist. Es ist also zweckmäßig, die Beziehungen zwischen diesen Größen und der Eigenschwingungszahl der Feder abzuleiten. Zwischen der Eigenschwingungszahl, der Federkonstanten k_1 (Belastung, unter der sich die Feder um 1 cm durchbiegt) in bezug auf das Federende und der auf diesen Punkt reduzierten Masse der Feder besteht die Beziehung:

$$k = \sqrt{\frac{k_1}{m}}; \qquad m = \frac{k_1}{k^2}. \tag{51}$$

Um k_1 zu bestimmen, berechnen wir zunächst die Durchbiegung der Feder unter einer beliebigen Belastung P. Die Gleichung der elastischen Linie lautet:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{1}{E \cdot J} \cdot P x; \tag{52}$$

$$J = \frac{u^4}{64} = \frac{u^3}{32} \cdot \frac{u}{2} = W \cdot \frac{u}{2}. \tag{53}$$

W ist das Widerstandsmoment des Federquerschnittes an der Stelle x.

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{P x}{E \cdot W} \cdot \frac{2}{u} = \frac{2 k_b}{E} \cdot \frac{1}{u}. \tag{54}$$

Da die Feder ein Träger gleicher Festigkeit ist, ist k_b konstant. Für u setzen wir den Wert aus Gleichung 2) ein und erhalten dann:

$$\frac{d^2y}{dx^2} = \frac{2 k_b}{E \sqrt[3]{\frac{32 P}{\pi k_b}}} \cdot x^{-\frac{1}{3}}; \tag{55}$$

$$\frac{dy}{dx} = \frac{2 k_b}{E \sqrt[3]{\frac{32 P}{\pi k_b}}} \left(\frac{3}{2} x^{\frac{2}{3}} + C_3 \right); \tag{56}$$

$$y = \frac{2 k_b}{E \sqrt[3]{\frac{32 P}{\pi k_b}}} \left(\frac{9}{10} x^{\frac{5}{3}} + C_3 x + C_4 \right). \tag{57}$$

Die Integrationskonstanten ergeben sich aus den Grenzbedingungen an der Einspannstelle. Für $x = 1$ ist $\frac{dy}{dx} = 0$. Damit erhält man aus Gleichung 57) für C_3 den Wert:

$$C_3 = -\frac{3}{2} l^{\frac{2}{3}}. \tag{58}$$

Weiterhin verschwindet für $x = 1$ die Durchbiegung.

$$\frac{9}{10} l^{\frac{5}{3}} - \frac{3}{2} l^{\frac{5}{3}} + C_4 = 0; \tag{59}$$

$$C_4 = 0{,}6\, l^{\frac{5}{3}}. \tag{60}$$

Die Durchbiegung am Stabende ($x = 0$) ist also:

$$y_0 = \frac{2 k_b}{E \sqrt[3]{\frac{32 P}{\pi k_b}}} \cdot 0{,}6\, l^{\frac{5}{3}} = \frac{1{,}2\, k_b \cdot l^2}{E \cdot u_0}. \tag{61}$$

Die Federkonstante ist:

$$k_1 = \frac{P}{y_0} = \frac{P \cdot E \cdot u_0}{1,2\, k_b \cdot l^2} = \frac{W_0 \cdot E \cdot u_0}{1,2\, l^3}. \qquad 62)$$

Aus Gleichung 62):

$$\frac{u_0}{l^2} = \frac{1,2\, k_b}{y_0 \cdot E}. \qquad 63)$$

Diesen Wert setzen wir in Gleichung 50) ein und erhalten dann die endgültige Form für die Formel der Eigenschwingungszahl:

$$n = \frac{0,208 \cdot 1,2 \cdot k_b}{y_0 \cdot E} \sqrt{\frac{E}{\varrho}} = \frac{0,25\, k_b}{y_0 \sqrt{E \cdot \varrho}}. \qquad 64)$$

Da die Kraft, die die Durchbiegung y_0 hervorruft, nicht in der Formel erscheint, ist die Eigenschwingungszahl n bei gleicher Federdurchbiegung und gleicher Beanspruchung von der Formänderungsarbeit unabhängig; es gibt also unendlich viele verschiedene Federn, die bei gleichem Schwingungsausschlag gleiche Beanspruchung erfahren und die gleiche Frequenz haben.

2. Schraubenfeder.

Eine Schraubenfeder verhält sich statisch genau wie ein elastischer Stab konstanten Querschnitts aus homogenem Material, der nur durch Zug- oder Druckkräfte beansprucht wird; d. h. die Dehnungen sind den Spannungen proportional. Da die Masse der Feder ebenso wie beim Stab gleichmäßig auf die Länge verteilt ist, muß das dynamische Verhalten der Feder auch mit dem eines passend gewählten elastischen Stabes übereinstimmen.

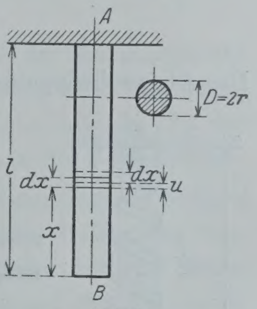


Abb. 8.

Bezeichnet man die Verschiebung eines Stabelementes an der Stelle x zurzeit t mit u (siehe Abb. 8), den Elastizitätsmodul wie im ersten Abschnitt mit E und die spezifische Dichte mit ϱ, so lautet die Differentialgleichung der Bewegung für die Längsschwingung des Stabes[1])

$$\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} = \varrho \cdot \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}. \qquad 65)$$

Die partielle Differentialgleichung läßt sich in zwei gewöhnliche Differentialgleichungen verwandeln von der Form:

$$\frac{d^2 T}{dt^2} = -k^2 T; \qquad 66)$$

$$\frac{d^2 X}{dx^2} = -\frac{k^2}{a^2} \cdot X. \qquad 67)$$

T und X sind Funktionen von t bzw. x allein. Es bestehen die Beziehungen:

$$u = T \cdot X; \qquad 68)$$

und

$$a^2 = \frac{E}{\varrho}. \qquad 69)$$

---

[1]) Hort, Die Differentialgleichungen des Ingenieurs. 1. Aufl., S. 286.

Die vollständigen Integrale der beiden gewöhnlichen Differentialgleichungen lauten:

$$T = A\cos(kt) + B\sin(kt); \tag{70}$$

$$X = A_1 \cos\left(\frac{k}{a}x\right) + B_1 \sin\left(\frac{k}{a}x\right). \tag{71}$$

Grenzbedingungen.

1. Für $x=0$ ist u dauernd $=0$ (Einspannstelle!), also auch $X=0$.

$$A_1 \cdot \cos 0 = 0; \qquad A_1 = 0. \tag{72}$$

2. Am Ende des Stabes sind die Normalspannungen $=0$.

Für $x=1$: $\frac{d^2X}{dx^2}=0$, also:

$$-\frac{k^2}{a^2}\cdot B_1 \sin\left(\frac{k}{a}\cdot l\right)=0. \tag{73}$$

Hieraus erhalten wir die Periodengleichung:

$$\frac{k\cdot l}{a} = n\cdot\pi, \tag{74}$$

wo n eine ganze Zahl ist. Es interessiert hier natürlich wieder nur die Grundschwingung, die wir für $n=1$ erhalten.

$$k = \frac{a\cdot\pi}{l}. \tag{75}$$

Die Eigenschwingungszahl der Längsschwingung des Stabes ist also:

$$n = \frac{k}{2\pi} = \frac{a}{2l}\ \text{sec}^{-1}. \tag{76}$$

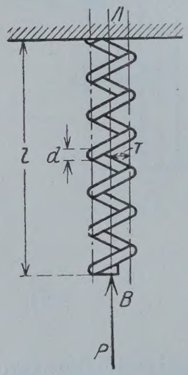


Abb. 9.

Dem reziproken Wert des Elastizitätsmoduls E beim Stab entspricht bei der Feder sinngemäß die verhältnismäßige Längenänderung unter der Last 1 bezogen auf ein Quadratzentimeter Querschnitt eines gedachten Zylinders, in dessen Mantelfläche die schraubenlinienförmige Achse des Federdrahtes fällt. Sein Durchmesser ist also gleich dem mittleren Windungsdurchmesser der Feder. Der relativen Dichte des Stabes entspricht die Masse eines Drahtwindungsstückes von solcher Länge, daß die durch die Endpunkte senkrecht zur Federachse gelegten Ebenen ein Stück von 1 cm³ Inhalt des gedachten Zylinders begrenzen. Mit den Bezeichnungen der Abb. 9 erhält man auf Grund vorstehender Überlegung die Beziehung:

$$a^2 = \frac{l^2\cdot d^2\cdot G}{16\pi n r^3\cdot\varrho\sqrt{l^2+(2\pi r n)^2}}; \tag{77}$$

$$a = \frac{l\cdot d}{4r}\sqrt{\frac{G}{\pi n\cdot r\varrho\sqrt{l^2+(2\pi r n)^2}}}. \tag{78}$$

G ist der Gleitmodul des Federstahles, ϱ wie bei der Stabfeder die relative Dichte.

Die Eigenschwingungszahl ist:

$$n = \frac{d}{8r}\sqrt{\frac{G}{\pi n\cdot r\varrho\sqrt{l^2+(2\pi r n)^2}}}. \tag{79}$$

Unter Benutzung der bekannten Formeln für Schraubenfedern führen wir die Verdrehungsbeanspruchungen k_d und die zugehörige Durchbiegung am Federende y_0 in

die Formel ein und erhalten damit den Ausdruck für die Eigenschwingungszahl der Feder in der endgültigen Form:

$$n = 0{,}25 \sqrt{\frac{d \cdot k_d}{r\, y_0\, \varrho \sqrt{l^2 + (2\pi r n)^2}}} = \frac{0{,}25\, k_d}{y_0 \sqrt{G \cdot \varrho}} \sqrt{2 \cos \varphi}\,. \qquad 80)$$

φ ist der Steigungswinkel der Federwindungen im ungespannten Zustand. Die Formel ist derjenigen, die wir für die Stabfeder erhalten hatten, im Aufbau vollständig analog. An die Stelle von k_b ist k_d getreten, der Elastizitätsmodul E ist durch den Gleitmodul G ersetzt. Neu hinzugekommen ist der Faktor $\sqrt{2 \cos \varphi}$, der die Steigung der Feder berücksichtigt. Genau genommen gelten die benutzten Formeln für die Durchbiegung allerdings nur für Federn mit sehr kleiner Steigung, für die $\cos \varphi$ ungefähr gleich 1 ist. Bei wachsender Steigung wird die Federbeanspruchung im Verhältnis zur Belastung etwas ungünstiger, bzw. die Eigenschwingungszahl bei gleicher Beanspruchung etwas niedriger. Die Formel liefert also für Federn mit großer Steigung etwas zu große Werte für n.

Berücksichtigt man, daß die zulässige Schubspannung beim gleichen Material nach Bach ungefähr $^3/_4$ der zulässigen Zugspannung betragen darf, und nimmt man für den Gleitmodul G den Wert 860000 kg/cm² für guten Federstahl gegenüber einem Elastizitätsmodul $E = 2\,200\,000$ kg/cm² an, so ergibt sich, daß die Eigenschwingungszahl einer Schraubenfeder $1{,}7 \cos \varphi$ mal so groß ist wie diejenige einer gleichwertigen Stabfeder mit kreisförmigem Querschnitt.

Hierbei ist allerdings zu berücksichtigen, daß wir bisher bei der Schraubenfeder nur die Masse der eigentlichen Windungen berücksichtigt haben, während das wagerechte Verbindungsstück am Federende vernachlässigt wurde (siehe Abb. 4). In der Mitte trägt dasselbe eine kugelförmige Verstärkung zum Einspannen in die Kolbenstange.

Die Schraubenfeder ist zweigängig, d. h. sie besteht aus zwei eingängigen Federn, die an den Enden verbunden sind. Auf jede Feder entfällt also die Hälfte des Verbindungsstückes. Für die in der Abb. 4 dargestellte Schraubenfeder mit 1,5-Federwindungen errechnet man mit Hilfe der abgeleiteten Formeln eine auf das Federende reduzierte Masse, die ihrer Größe nach genau der Masse des bisher nicht mit berücksichtigten halben Verbindungsstückes entspricht. Die Eigenschwingungszahl der Feder wird damit um das $\frac{1}{\sqrt{2}} = 0{,}707$ fache kleiner. Der Cosinus des Steigungswinkels ist für die betrachtete Feder $= 0{,}94$. Mit diesen Zahlen ergibt sich, daß die Schraubenfeder nur um das $1{,}7 \cdot 0{,}94 \cdot 0{,}707 = 1{,}13$ fache schneller schwingt als die Stabfeder. Dieser geringe Vorteil wird wahrscheinlich mehr als ausgeglichen, wenn man die kugelförmige Verstärkung des horizontalen Federendstückes in der Mitte noch mit berücksichtigt, und durch die unvermeidlich gegenüber der Verbindungsart der Stabfeder schwerer ausfallende Befestigungsvorrichtung des Federendes in der geschlitzten Kolbenstange. Der kugelförmige Ansatz der Stabfeder greift einfach in eine senkrecht zur Achse verlaufende Bohrung der örtlich verstärkten Kolbenstange, in die sie eingeschliffen ist (siehe Abb. 1).

Von Interesse ist noch die Beantwortung der Frage, welchen Beitrag die Federn bei ausgeführten Indikatoren zu der auf den Kolben reduzierten Masse sämtlicher bewegten Teile liefern. Die Rechnung ergibt für die kleinsten Federmaßstäbe, also die härtesten Federn (0,5 mm = 1 at, Maihak-Stabfederindikator) im ungünstigsten Fall hierfür ungefähr 20% der Gesamtmasse. Der Anteil wird naturgemäß um so

größer, je hochwertiger der Indikator ist, je kleiner seine Gestänge- und Kolbengewichte sind.

Man sieht aus der angegebenen Zahl, daß die Federmassen gegenüber den übrigen bei hochwertigen Schnelläuferindikatoren durchaus nicht mehr zu vernachlässigen sind.

Zusammenfassung.

Die Eigenschwingungszahlen von Stabfedern und Schraubenfedern von Indikatoren werden berechnet und miteinander verglichen. Es wird gezeigt, daß sie dynamisch annähernd gleichwertig sind. Bei sehr kleinen Diagrammaßstäben haben die Federmassen schon einen wesentlichen Einfluß auf die Eigenschwingungszahl des Indikator-Schreibzeuges. Derselbe wird um so geringer, je größer unter sonst gleichen Verhältnissen die Übersetzung des Schreibhebelgestänges ist. Die Erkenntnis, daß die Federmassen bei hochwertigen Indikatoren schon wesentlich ins Gewicht fallen, erlaubt die Beantwortung der Frage, ob es aussichtsvoll ist, den mechanischen Federindikator noch für wesentlich höhere Drehzahlen als bisher zu entwickeln. Die Frage muß verneint werden, da selbst der niemals auch nur annähernd zu verwirklichende Idealindikator mit gewichtslosem Kolben und Schreibgestänge nur wenig über doppelt so schnell schwingen würde wie die besten vorhandenen Spezialindikatoren, gleiche Diagrammgröße vorausgesetzt. Hier könnte man also tatsächlich nur noch mit optischen Indikatoren oder vielleicht auf ganz neuen Wegen weiterkommen.

Zur Theorie der Refraktometer.

Von

Dr. **Hans Schulz** in Berlin-Lichterfelde.

Bereits an anderer Stelle[1]) ist ausgeführt worden, daß der Meßbereich der Refraktometer, die als Kriterium den Intensitätsabfall an der Grenze der Totalreflexion benutzen, bei symmetrischem Verlauf der Grenzstrahlen für die Enden des Meßbereiches sich in verhältnismäßig einfacher Weise in Abhängigkeit vom brechenden Winkel des Prismas und Brechungszahl des Prismenmaterials darstellen läßt. Wie weit jedoch die formelmäßig dargestellten Fälle praktisch brauchbar sind, hängt einmal ab vom Gange der Dispersion, dann aber auch von der an verschiedenen Stellen des Meßbereiches erzielbaren Genauigkeit.

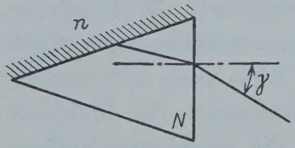


Abb. 1.

Im allgemeinen sind die gleichen Brechungszahldifferenzen entsprechenden Änderungen der Austrittswinkel γ (vgl. Abb. 1) sehr verschieden, während Proportionalität dieser Größen erwünscht ist. Vollkommene Gleichmäßigkeit läßt sich nicht erreichen, und die Anwendung komplizierter mechanischer Übertragungen, die einen Ausgleich der Intervalle bewirken könnten, ist wegen der durch sie verursachten Fehler nicht ratsam, doch lassen sich allzu große Unterschiede ohne Schwierigkeit bei entsprechender Verlagerung der Meßgrenze vermeiden.

Aus den allgemeinen Formeln für den Durchgang eines Grenzstrahles, d. h. eines solchen, der streifend in das Meßprisma eintritt, folgt zunächst, wenn der brechende Winkel mit φ, die Brechungszahl des Prismas mit N bezeichnet wird:

---

[1]) H. Schulz, *Zeitschr. f. techn. Physik* **3.** *S. 90—93. 1922.*

$$\frac{d\gamma}{dn} = -\frac{N\cdot\cos\beta}{\cos\gamma\sqrt{N^2-n^2}} = -\frac{\cos\varphi\sqrt{N^2-n^2}+n\sin\varphi}{\sqrt{N^2-n^2}\sqrt{1-(\sin\varphi\sqrt{N^2-n^2}-n\cos\varphi)^2}}. \qquad 1)$$

n bedeutet dabei den Brechungsindex der zu untersuchenden Substanz. Setzt man vereinfachend

$$\sqrt{N^2-n^2}=P; \qquad -\frac{d\gamma}{dn}=h,$$

so wird

$$h=\frac{P\cos\varphi+n\sin\varphi}{P\sqrt{1-(P\sin\varphi-n\cos\varphi)^2}}. \qquad 2)$$

Die größte Gleichheit der Intervalle ist für einen Extremwert von h zu erwarten, für den durch Differentiation nach n die Bedingung

$$A\,\mathrm{tg}^3\varphi+B\,\mathrm{tg}^2\varphi+C\,\mathrm{tg}\,\varphi+D=0 \qquad 3)$$

sich ergibt, in der die Koeffizienten die Werte

$$\left.\begin{aligned} A&=N^2(N^2-1)-n^4\\ B&=-3n^3P\\ C&=N^2(N^2-3n^2-1)+3n^4\\ D&=-nP^3 \end{aligned}\right\} \qquad 3a)$$

annehmen. Als Gleichung 3. Grades ergibt diese stets wenigstens eine reelle Wurzel und damit einen Wert für den brechenden Winkel, doch muß beachtet werden, daß die Zahl der brauchbaren Lösungen dadurch eingeschränkt wird, daß φ praktisch nicht viel größer als 90^0 werden kann. Ferner ist im Höchstfalle wegen der Bedingung der Totalreflexion $n=N$ oder $P=0$ und damit für diesen Sonderfall, für den sich im allgemeinen gleichmäßig wachsende oder gleichmäßig fallende Intervalle ergeben:

$$\mathrm{tg}\,\varphi=\pm\sqrt{N^2-1}, \qquad 3b)$$

was auf die Zahlenwerte führt

$N=$	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7
$\varphi=$	$39{,}72^0$	$44{,}42^0$	$48{,}19^0$	$51{,}32^0$	$53{,}97^0$

Da nun n stets kleiner sein muß als N, so kann man setzen

$$n=p\cdot N; \qquad 0<p<1$$

und man erhält für gegebenes φ allgemein

$$N^2=\frac{\mathrm{tg}\,\varphi\,(1+\mathrm{tg}^2\varphi)}{\mathrm{tg}^3\varphi\,(1-p^4)-3\,\mathrm{tg}^2\varphi\cdot p^3\sqrt{1-p^2}+\mathrm{tg}\,\varphi\,(1-3p^2+3p^4)-p(1-p^2)^{3/2}}, \qquad 4)$$

wobei natürlich nur der reelle positive Wert von N eine physikalische Bedeutung hat. Ein solcher kann sich nur ergeben, wenn

$$\mathrm{tg}^3\varphi\,(1-p^4)-3\,\mathrm{tg}^2\varphi\cdot p^3\sqrt{1-p^2}+\mathrm{tg}\,\varphi\,(1-3p^2+3p^4)-p(1-p^2)^{3/2}\geqq 0 \qquad 4a)$$

wird. Eine leichte Rechnung zeigt, daß hierfür geschrieben werden kann

$$\left(\mathrm{tg}\,\varphi-\frac{p}{\sqrt{1-p^2}}\right)\left\{\mathrm{tg}^2\varphi\,(1-p^4)-\mathrm{tg}\,\varphi\cdot p\,(2p^2-1)\sqrt{1-p^2}+(1-p^2)^2\right\}\geqq 0.$$

Eine solche Lösung ist demnach

$$\mathrm{tg}\,\varphi_1=\frac{p}{\sqrt{1-p^2}},$$

und diese Beziehung gilt für diejenigen Strahlen, welche senkrecht aus der zweiten Fläche des Prismas austreten. Die beiden andern Lösungen

$$\operatorname{tg} \varphi_{23} = \frac{p(2p^2 - 1)}{2(1+p^2)\sqrt{1-p^2}} \pm \frac{\sqrt{5p^2 - 4}}{2(1+p^2)\sqrt{1-p^2}}$$

können nur reell sein, wenn

$$p^2 \geqq 0{,}8$$
$$p \geqq 0{,}89444$$

ist. Für diesen Grenzwert ergeben sich die Werte

$$\varphi_1 = 63^0\ 26'\ 5''$$
$$\varphi_{23} = 18^0\ 26'\ 6'',$$

die somit zeigen, daß für Werte von p zwischen 1 und 0,89444 und endliches N (zwischen 1,5 und 1,9) nur Werte von φ praktisch in Frage kommen, die entweder über 60^0 liegen oder solche, die in der Nähe der angegebenen Doppelwurzel sich befinden, jedoch groß genug sind, um eine Totalreflexion an der zweiten Fläche auszuschließen.

Totalreflexion an der zweiten Fläche findet statt, wenn

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{p\sqrt{N^2 - 1} - \sqrt{1 - p^2}}{p + \sqrt{N^2 - 1}\sqrt{1 - p^2}} \tag{5}$$

ist. Gleichung 4) und 5) zusammen bestimmen N als Funktion von p, und zwar ergibt die Rechnung, daß für diesen Grenzfall

$$N^2 = 1 + p^2$$

sein müßte. Da $p < 1$, so ist also nur für $N < \sqrt{2}$ das Zusammenfallen von Totalreflexion an der zweiten Fläche und Extremwert von h möglich.

Daß tatsächlich in unmittelbarer Umgebung des durch Gleichung 3) bestimmten Wendepunktes die Intervalle eine außerordentliche Gleichmäßigkeit aufweisen, zeigt eine einfache Rechnung. Wenn man beispielsweise für den Fall $\varphi = 90^0$ bei $N = 1{,}626$ die Werte des Austrittswinkels γ für verschiedene Werte von n bestimmt und die Abweichungen gegen eine lineare nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnete Abhängigkeit des Austrittswinkels vom Brechungsindex n der zu untersuchenden Substanz ermittelt, die in der Form

$$\gamma_c = M + R\,n \tag{6}$$

aufgestellt werden kann, so findet man folgende Werte:

Brechender Winkel $\varphi = 90^0$.
$N = 1{,}626$; $M = 298{,}166$; $R = -172{,}957$.

Brechungsindex n	Wahrer Wert des Austrittswinkels γ	Berechneter Wert γ_c	Differenz $\gamma - \gamma_c$
1,35	65,000	64,674	+ 0,326
1,375	60,219	60,350	− 0,131
1,40	55,787	56,026	− 0,239
1,425	51,550	51,702	− 0,152
1,45	47,374	47,378	− 0,004
1,475	43,182	43,055	+ 0,127
1,50	38,871	38,731	+ 0,146
1,525	34,341	34,407	− 0,066

Innerhalb des ziemlich großen Brechungszahlenintervalles von 1,35 bis 1,525 ist also die mittlere Abweichung von der Linearität im Mittel $\pm 0{,}175$, also klein genug,

um mit einer linearen Skala für den genannten Bereich die Fehler bei der Bestimmung der Brechungsexponenten nicht größer als eine Einheit der 3. Dezimale werden zu lassen. Für kleinere Bereiche, wie sie beispielsweise bei Refraktometern nach dem Typ der Eintauchrefraktometer üblich sind, muß es daher möglich sein, die Differenz der wahren Werte gegen eine lineare Skala noch stärker einzuschränken, wie schon daraus ersichtlich ist, daß die Differenzen der Austrittswinkel für gleiche Brechungszahldifferenzen in der Nähe des Wendepunktes ($n = 1{,}44$) auf $^1/_{10}$ des oben angegebenen Fehlerwertes reduziert werden können. Daß die Wahl der Intervalle, in denen ein nahezu gleichmäßiges Fortschreiten der γ-Werte mit dem Brechungsindex n stattfindet, vollkommen den praktischen Bedürfnissen angepaßt werden kann, zeigt die schematische Darstellung Abb. 2, bei der gemäß Gleichung 3) die Abhängigkeit der Winkel φ von p für verschiedene Werte von N wiedergegeben ist.

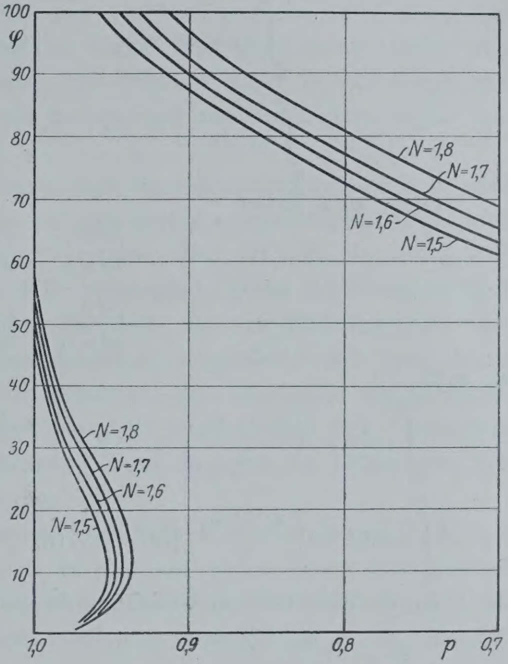


Abb. 2.

Um nun die günstigste Lage des Intervalles und die Größe des Fehlers am besten feststellen zu können, kann man am besten von der Bedingung ausgehen, daß die Abweichungen $\gamma - \gamma_c$ für ein bestimmtes Intervall

$$n_1 < n < n_2$$

eine bestimmte Größe nicht überschreiten dürfen. Da nun γ durch die Gleichung

$$\sin \gamma = \sin \varphi \sqrt{N^2 - n^2} - n \cos \varphi,$$

γ_c durch die Gleichung 6) gegeben ist, so muß sein

$$\int_{n_1}^{n_2} (\gamma - \gamma_c)^2 \, dn = \min,$$

woraus für M und G die Bestimmungsgleichungen sich ergeben

$$\left.\begin{aligned} M(n_2 - n_1) + R\frac{n_2^2 - n_1^2}{2} &= \int_{n_1}^{n_2} \gamma \, dn, \\ M\frac{(n_2^2 - n_1^2)}{2} + R\frac{n_2^3 - n_1^3}{3} &= \int_{n_1}^{n_2} n\gamma \, dn, \end{aligned}\right\} \qquad 7)$$

woraus

$$\left.\begin{aligned} M &= \frac{4(n_1^2 + n_1 n_2 + n_2^2)\int_{n_1}^{n_2} \gamma \, dn - 6(n_1 + n_2)\int_{n_1}^{n_2} n\gamma \, dn}{(n_2 - n_1)^3} \\ R &= \frac{12\int_{n_2}^{n_2} n\gamma \, dn - 6(n_1 + n_2)\int_{n_2}^{n_2} \gamma \, dn}{(n_2 - n_1)^3}. \end{aligned}\right\} \qquad 7a)$$

Eine gewisse Schwierigkeit bietet die Auswertung der Integrale $\int \gamma\, dn$ und $\int n\gamma\, dn$, doch läßt sich diese umgehen, wenn man berücksichtigt, daß gemäß Voraussetzung die Differenz der Grenzen des Integrals nicht allzu groß sein kann und daß demgemäß der zweite Differentialquotient von γ innerhalb des Bereiches als verschwindend klein angenommen werden kann. Daher gilt

$$\int_{n_1}^{n_2} \gamma\, dn = \gamma_2 n_2 - \gamma_1 n_1 - \frac{n_2^2}{2}\left(\frac{d\gamma}{dn}\right)_2 + \frac{n_1^2}{2}\left(\frac{d\gamma}{dn}\right)_1;$$

$$\int_{n_1}^{n_2} n\gamma\, dn = \frac{n_2^2\gamma_2}{2} - \frac{n_1^2\gamma_1}{2} - \frac{n_2^3}{6}\left(\frac{d\gamma}{dn}\right)_2 + \frac{n_1^3}{6}\left(\frac{d\gamma}{dn}\right)_1.$$

Setzt man ferner

$$\left(\frac{d\gamma}{dn}\right)_2 = \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{n_2 - n_1} + \varepsilon_2,$$

$$\left(\frac{d\gamma}{dn}\right)_1 = \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{n_2 - n_1} + \varepsilon_1,$$

so wird

$$\int_{n_1}^{n_2} \gamma\, dn = \left(\frac{n_2 - n_1}{2}\right)(\gamma_2 + \gamma_1) + \frac{n_1^2\varepsilon_1 - n_2^2\varepsilon_2}{6};$$

$$\int_{n_1}^{n_2} \gamma n\, dn = \left(\frac{n_2 - n_1}{6}\right)[(\gamma_2 + \gamma_1)(n_2 + n_1) + \gamma_2 n_2 + \gamma_1 n_1] + \frac{n_1^2\varepsilon_1 - n_2^3\varepsilon_2}{6}.$$

Durch Einsetzen in Gleichung 7a) erhält man

$$\left.\begin{aligned} M &= \frac{\gamma_1 n_2 - \gamma_2 n_1}{n_2 - n_1} + \frac{(\varepsilon_1 n_1^2 - \varepsilon_2 n_2^2)(n_1 + n_2)^2}{(n_2 - n_1)^3} + \frac{n_1 n_2(\varepsilon_1 n_2 + \varepsilon_2 n_2)}{(n_2 - n_1)^2} \\ R &= \frac{\gamma_2 - \gamma_1}{n_2 - n_1} + \frac{\varepsilon_2 n_2^2(3 n_1 + n_2) - \varepsilon_1 n_1^2(3 n_2 + n_1)}{(n_2 - n_1)^3} \end{aligned}\right\} \quad 7\text{b})$$

Da man nun in der Umgebung des Wendepunktes mit guter Näherung $\varepsilon_2 = \varepsilon_1 = \varepsilon$ setzen kann, so folgt, daß als Abweichung von der Linearität höchstens ein Betrag

$$\varepsilon\frac{n_1^2 + 4 n_1 n_2 + n_2^2}{n_2 - n_1}$$

in Frage kommt, wobei ε noch von der Größe des Intervalles $n_2 - n_1$ abhängig ist. Um einen Begriff von der erreichbaren Genauigkeit zu geben, sei der Fall erörtert, daß

$$N = 1{,}5111, \qquad n_1 = 1{,}33, \qquad n_2 = 1{,}36, \qquad \varphi = 95^0\ 35'$$

ist. Für $n = 1{,}345$ verschwindet $\frac{d^2\gamma}{dn^2}$.

Die zugehörigen Werte von h sind dann

$$h_1 = 3{,}0789, \qquad h = 3{,}0521, \qquad h_2 = 3{,}0574.$$

Unter Berücksichtigung der Intervallgröße ergibt sich hieraus ein Fehler von n, der höchstens 0,00008 erreichen kann, d. h. eine Meßgenauigkeit, die bei technischen Refraktometern üblicherweise als Grenze angenommen wird.

Erklärbar wird die Möglichkeit der geradlinigen Skala theoretisch durch die Tatsache, daß innerhalb eines bestimmten Intervalles eine gerade Linie durch eine Summe von Sinusfunktionen darstellbar ist. Praktisch ergibt sich aber damit eine günstigere Konstruktion, weil die Anwendung eines Nonius die Ablesung auf ein kleineres Skalenintervall und damit die Ausschaltung von Übersetzungsvorrichtungen zuläßt, die ihrerseits als Fehlerquellen betrachtet werden müssen.

Einige Beobachtungen an Dosenlibellen.

Von
Karl Lüdemann in Freiberg.

1. Die mit geodätischen Vermessungsinstrumenten verbundenen Dosenlibellen dienen in der Regel zur vorläufigen rohen oder zur genähert genauen Aufrichtung der Stehachse des Theodolits, Nivellierinstrumentes u. dergl. Nur ganz selten mißt man mit ihnen die Neigung einer Achse oder Ebene. Sie erhalten daher in der Regel nur einige wenige Teilungs- oder Einstellkreise; am besten und zweckmäßigsten sogar nur einen.

Die heute verwendeten Dosenlibellen lassen sich ihrer Konstruktion nach in zwei Gruppen einteilen. Bei der einen und älteren ist eine sauber ausgeschliffene Glasplatte mit einer Dose aus Metall — meist Messing — oder Glas (D.R.P. Nr. 208 505 v. 27. X. 1907) durch eine Zwischenschicht von Kitt verbunden. Diese Konstruktion hat bei unzulänglicher Ausführung der Kittung den Nachteil, daß die Füllflüssigkeit verdampft und daß so die Blase bis zur Unbrauchbarkeit vergrößert wird. Man kann diesen Übelstand in gewissen Grenzen dadurch beseitigen, daß die Größe der Libellenblase durch eine Schraube, die sich in die Flüssigkeit hineindrehen läßt, verändert wird [**1**, S. 205; **2**, S. 90] [1]). Bei dieser Ausführung kann dagegen die Deckplatte mit nahezu beliebiger Genauigkeit geschliffen werden.

Das lästige „Auslaufen“ der Dosenlibellen beseitigte F. Mollenkopf [**3**, **4**] vor nahezu einem Vierteljahrhundert dadurch, daß er den aus einem Stück bestehenden Glaskörper zuschmolz. Auch andere Firmen wandten später dieses Verfahren an [z. B. **5**]. Allerdings muß nun damit gerechnet werden, daß die Schlifffläche durch das Zuschmelzen unregelmäßig verändert wird.

Für den praktisch tätigen Vermessungsingenieur ergeben sich folgende zwei Fragen:

1. Mit welcher Genauigkeit kann die Stehachse eines Theodolits usw. mit einer guten Dosenlibelle aufgerichtet werden?

2. Sind die zugeschmolzenen Dosenlibellen hierzu geeignet?

Mit der Beantwortung dieser beiden Fragen beschäftigte ich mich mit geringen Hilfsmitteln in den Jahren 1909—1914, mit besseren Hilfsgeräten in den Jahren 1919—1925. Die Ergebnisse meiner Untersuchungen sind im nachstehenden mitgeteilt, diejenigen anderer Beobachter zum Vergleich herangezogen.

2. P. Samel [**6**] hat über eingehende Versuche mit Dosenlibellen berichtet. Er untersuchte 4 aus einem einzigen Glaskörper und 4 aus je 2 Teilen bestehende Dosenlibellen und bestimmte zunächst die Genauigkeit der Lotrechtstellung einer Stehachse mit Hilfe einer Dosenlibelle nach dem von Ch. A. Vogler [**7**, S. 301—303] angegebenen Verfahren. Hierbei zerlegte er den m. F. m_a, mit dem eine Stehachse lotrecht gestellt werden kann, in einen konstanten Teil — den Konvergenzwinkel zwischen der Hauptnormalen der Dosenlibelle und der Stehachse — und in einen unregelmäßigen Fehler m_b, der ein Maß der Einstellgenauigkeit der Libellenblase ist. Die zahlenmäßigen Ergebnisse habe ich in der Tafel 1 zusammengestellt, in der bezeichnet

A die Angabe, bezogen auf 1 paris. Linie (2,256 mm);

e den mittl. Abstand der Blase vom Normalpunkt.

Der Durchmesser der Blase ist bei Zimmertemperatur von $\sim +16^0$ gemessen worden

[1]) Siehe das Literaturverzeichnis am Schluß.

Tafel 1.

Nr.	Zuge-schmolzen	Durchmesser der Einstellkreise mm	Durchmesser der Blase mm	Farbe der Einstellkreise	Krümmungshalbmesser m	Angabe A ′	m_a ″	m_b ″	e mm	Bezeichnung bzw. zum Instrument gehörig
1	ja	4,6 und 10,5	4,5	grau	1,12	6,9	± 26	± 24	± 0,15	Ehrhardt ungefaßt
2	ja	5,0 und 10,7	5,0	schwarzgrau	1,18	6,6	31	19	0,11	Ehrhardt ungefaßt
3	ja	4,8 und 10,0	8,2	grauschwarz	0,52	14,9	36	20	0,05	Mollenkopf zu Rosenberg 1281
4	ja	6,9 und 12,5	8,5	grau	0,49	15,8	46	19	0,05	Mollenkopf ungefaßt
5	nein	6,5 und 9,3	9,2	grau	0,24	32,3	45	41	0,05	zu Wolz 2745
6	nein	6,4 und 15,4	8,7	grauschwarz	0,75	10,3	27	17	0,06	zu Rosenberg 1365
7	nein	6,2	11,4	grau	0,88	8,8	21	19	0,08	zu Fennel 6032
8	nein	5,8 und 11,0	17,5	grau	0,44	17,6	63	32	0,07	zu Wolz 2930

Die „mittlere Einstellgenauigkeit“ m_b ist verhältnismäßig gering. Man erhält interessante Vergleiche, wenn man mit den m_b-Werten die Angabe A und den Unterschied in den Durchmessern der Einstellkreise und der Libellenblase vergleicht. Auch die Farbe der Einstellkreise spielt eine Rolle. P. Samel stellt fest, „daß die Libellenblase am schärfsten zum Einspielen gebracht werden kann, wenn die Halbmesser des aufgezeichneten Kreises (Ringes) und der Blase um etwa 0,5 bis 1,0 mm verschieden sind“.

Der zweite Teil der Untersuchung beschäftigt sich mit einer Prüfung der Gestalt der Schliffläche in der Nähe des Einstellringes. Die Beobachtungen wurden mit einem Libellenprüfer ausgeführt. Als lineare Einheit diente eine so auf die Oberseite der Libellen geklebte Millimeterteilung, daß der Ableserand durch den Normalpunkt ging. Parallaktische Ablesefehler wurden ausgeschaltet. Als Maß der Schliffgenauigkeit wählt P. Samel den Krümmungshalbmesser. Ich gebe seine Ergebnisse unter Hinzufügung der wieder auf eine paris. Linie bezogenen Angabe A in der Tafel 2.

Tafel 2.

Nr.	Zugeschmolzen	Anzahl der Werte	Mittlerer Krümmungshalbmesser m	Mittlere Angabe A ′	Krümmungshalbmesser größter m	Krümmungshalbmesser kleinster m	Angabe A größte ′	Angabe A kleinste ′
1	ja	9	1,12	6,9	1,34	0,82	9,5	5,8
2	ja	9	1,18	6,6	1,59	0,73	10,6	4,9
3	ja	13	0,52	14,9	0,66	0,43	18,0	11,8
4	ja	20	0,49	15,8	0,79	0,33	23,5	9,8
5	nein	14	0,24	32,3	0,25	0,20	38,8	31,0
6	nein	18	0,75	10,3	0,84	0,54	14,4	9,2
7	nein	10	0,88	8,8	1,05	0,55	14,1	7,4
8	nein	11	0,44	17,6	0,50	0,40	19,4	15,5

Aus der Tafel 2 und vor allem aus der von P. Samel mitgeteilten Tabelle 5 folgt, „daß der Schliff der älteren Dosenlibellen viel regelmäßiger ist als bei den Libellen aus einem Glaskörper“. Eine theoretische Überlegung zeigt aber, daß auch unter ungünstigen Verhältnissen der durch die Mängel der Schlifffläche entstehende Fehler etwa von dem gleichen Betrage ist wie derjenige, der bei der Berichtigung der Dosenlibelle etwa noch übrigbleibt.

P. Samel kommt schließlich zu folgendem Ergebnis:

„Die Dosenlibellen aus einem einzigen Glaskörper genügen bezüglich ihrer Genauigkeit vollkommen den Anforderungen, die an sie gestellt werden, da jene nicht allein in erster Linie von einem vollkommen gleichmäßigen Schliff, sondern auch vom Krümmungshalbmesser und dem Größenverhältnis des aufgezeichneten Kreises und der Blase abhängt, das gerade bei der neuen Dosenlibelle bis auf schwankende Änderungen durch die Temperatureinflüsse ein für allemal geeignet festgelegt werden kann, während bei den Dosenlibellen älterer Form die Libellenblase infolge Verdampfens der Füllflüssigkeit einen immer größer werdenden Durchmesser bis zur Unbrauchbarkeit der Libelle annehmen kann. Aus letzterem Grunde sind daher die Dosenlibellen aus einem einzigen Glaskörper den Dosenlibellen älterer Form unbedingt vorzuziehen."

3. Weitere Untersuchungen hat K. Haußmann [8] angestellt. Er teilt zunächst die Ergebnisse einer von W. Breithaupt ausgeführten Prüfung der Schlifffläche von vier in der Tafel 3 aufgeführten zugeschmolzenen Libellen mit, wobei „an einem Maßstab die Verschiebung der Blase für je eine Minute Neigungsänderung abgelesen" wurde, und zwar in zwei zueinander senkrechten Durchmessern. Diese Untersuchung beschränkte sich aber auf eine zentrisch zum Normalpunkt gelegene kreisförmige Fläche

mit einem Durchmesser von	4,9	3,4	2,6	2,0 mm
bei der Libelle	1	2	3	4 ,

also nur auf einen Bruchteil der bei mittlerer Temperatur von der Blase eingenommenen Fläche.

Für die Libelle 1 werden folgende Ausschläge in mm angegeben für Neigung der

Libelle um		1′	2′	3′	4′
Maßstab steht	0°	0,7	1,3	2,0	2,4
	90°	0,8	1,2	2,0	2,5
	180°	0,7	1,1	2,0	2,4
	270°	0,7	1,2	2,0	2,5

Daraus hat man für die Angabe A, bezogen auf 1 paris. Linie, in Minuten:

	3,2	3,5	3,4	3,8
	2,8	3,8	3,4	3,6
	3,2	4,1	3,4	3,8
	3,2	3,8	3,4	3,6.
Mittel	3,1	3,8	3,4	3,7

und für den Krümmungshalbmesser in m

	2,4	2,2	2,3	2,0
	2,8	2,0	2,3	2,2
	2,4	1,9	2,3	2,0
	2,4	2,0	2,3	2,2
Mittel	2,5	2,0	2,3	2,1

Diese Zahlen geben einen nicht uninteressanten Einblick in den Zustand der Schlifffläche an derjenigen Stelle der Libelle, die von den Folgen des Zerschmelzens des Glaskörpers am weitesten entfernt ist.

K. Haußmann stellte ferner den mittleren Fehler m_e für das Einspielen der Blase bei senkrechter Draufsicht fest und fand die in Tafel 3 genannten Zahlen.

Tafel 3.

Nr.	Angabe A ′	Durchmesser des Einstellkreises mm	Durchmesser der Blase mm	Abstand von Kreis und Blase mm	m_c Reihe 1 ″	Reihe 2 ″	Mittel ″
1	4	6,0	5,7	0,15	± 11	± 10	± 10
2	6	6,1	5,3	0,4	6	5	6
3	8	6,2	5,2	0,5	5	7	6
4	10	6,9	5,1	0,9	13	7	10

„Wenn die Dosenlibelle ihren natürlichen Platz am Theodolit auf der Platte zwischen den Fernrohrträgern einnimmt, so ist der Einblick nur schief von der Seite des Okulars und des Objektivs her möglich, er ist durch die Alhidadenteile beschränkt. Deshalb wird der Fehler in der Horizontierung größer. Selbst wenn der Einstellkreis auf der Innenseite des Glasdeckels angebracht wird, wie es jetzt meist geschieht, bleibt wegen der Gestalt des Blasenraums und der verschiedenen Neigung der Sehstrahlen eine erhebliche parallaktische Verschiebung übrig, die man aus zwei gegen die Lotlinie der Kreismitte symmetrischen Augstellungen erfährt. Der Praktiker wird sich für eine bestimmte Stellung der Augen diese scheinbar verschobene Stellung der Blase bei einspielender Libelle bald genug sicher einprägen, um die richtige Horizontierung durch Einblick nur von einer Seite her zu bewirken. Die Versuchsreihen, die auf diese Weise gebildet worden sind, gaben durchweg mittlere Fehler der Horizontierung unter 20″ [8, S. 244].“ Bei einem enggebauten 8-cm-Reisetheodolit „war der Horizontierfehler in der Fernrohrrichtung im Mittel 12″, senkrecht dazu 8″.“ Ein niedriger 12-cm-Nonientheodolit gab mit der Libelle Nr. 4 entsprechend die Werte 6″ und 4″, die zufällig sehr klein sind.

Die Endergebnisse werden so zusammengefaßt:

„Glasdosenlibellen lassen sich ohne Verzerrung des Kugelschliffs herstellen; sie genügen zur Horizontierung, wenn die Größe der Blase zu der des Einstellkreises im richtigen Verhältnis steht. Der mittlere Durchmesser der Blase wird zweckmäßig etwa 1 mm kleiner genommen als der Kreisdurchmesser. Der Kreis ist auf der Innenseite des Glasdeckels anzubringen.“

4. H. Löschner [9] hat für einige Dosenlibellen[1]) von F. Mollenkopf den mittleren Einstellfehler m_d für senkrechte Draufsicht ermittelt. Er fand für die in der Richtung der Längsachse des Libellenprüfers liegende Komponente die in der Tafel 4 angegebenen Zahlen. Aus den m_d habe ich den mittleren Einspielfehler m_e für beide Komponenten errechnet unter der Annahme, daß sie gleich groß sind.

Tafel 4.

Temperatur + 20° C. Angabe bezogen auf 2-mm-Einheit.

Nr.	Angabe A ′	Durchmesser des Einstellkreises mm	Durchmesser der Blase mm	Abstand von Kreis und Blase mm	m_d ″	m_e ″
1	9,5	6,0	5,3	0,35	± 8,0	± 11,3
2	11	6,5	5,2	0,65	4,8	6,8
3	20	7,0	5,4	0,8	5,9	8,3
4	20	7,2	5,4	0,9	8,6	12,2

[1]) H. Löschner verwendet den Ausdruck „Rundlibelle“, da er „Dosenlibelle“ für weniger zutreffend hält.

H. Löschner hält einen Zwischenraum zwischen Einstellring und Blasenrand von 0,5 bis 1 mm für am günstigsten.

5. Meine eigenen Beobachtungen der Vorkriegszeit wurden unter Benutzung eines Hildebrand-Nivellierinstrumentes mit einer Röhrenlibelle von 10″,3 Angabe an 3 zugeschmolzenen Dosenlibellen von F. Mollenkopf nach dem Verfahren von Ch. A. Vogler [7, S. 301—303] in Übereinstimmung mit der Arbeitsweise von P. Samel [6] ausgeführt. Die Ergebnisse zeigt die Tafel 5, in der m_a und m_b die Bedeutung wie in Tafel 1 haben, während Z den Konvergenzwinkel bezeichnet.

Tafel 5.

Temperatur + 18° C.

Nr.	Durchmesser des Glaskörpers mm	Durchmesser des Einstellkreises mm	Durchmesser der Blase mm	Abstand von Kreis und Blase mm	Angabe A ′	m_a ″	Z ″	m_b ″
1	20	7,6	6,2	0,4	6	± 17	14	± 8
2	21	6,9	5,9	0,5	8	13	10	9
3	21	7,1	5,7	0,7	12	21	16	13

6. Bei meinen in der Nachkriegszeit angestellten Untersuchungen stand mir ein Libellenprüfer der Hildebrand-Werkstätten zur Verfügung. Die geprüften Dosenlibellen entstammen dem Handel, sind also nicht besonders ausgewählt. Außer zugescholzenen Glaskörpern wurden auch Dosenlibellen untersucht, die aus 2 Teilen bestanden, von denen aber die herstellende Firma sich verpflichtend behauptete, daß sie dauernd dicht bleiben würden, da man für die Dose und den Deckel Glas gewählt habe. Nach 7 Jahren hatte sich bei gerade der Hälfte dieser Libellen die Blase bis zur Unbrauchbarkeit vergrößert.

Bei allen Libellen war der Einstellkreis unmittelbar auf der Schliffläche in grauschwarzer bis schwarzer Färbung angebracht.

Die Abmessungen der einzelnen Dosenlibellen gehen aus der Tafel 6 hervor.

Die Prüfung der Schliffläche geschah mit einem Libellenprüfer unter Benutzung einer auf die Dosenlibelle gelegten Glasteilung in zwei senkrecht zueinander stehenden Durchmessern und zwar vom Normalpunkt bis zum Rande. Parallaktische Fehler wurden mit einer zum Ablesen benutzten Hilfsvorrichtung ausgeschaltet. Als Vergleichsmaßstab wurde die Angabe A, bezogen auf eine paris. Linie, benutzt. Der größte, kleinste und mittlere Wert von A ist in der Tafel 6 angegeben.

Es lohnt nicht, die vielen Einzelmessungen hier wiederzugeben; es sei aber das Endergebnis mitgeteilt:

a) die Schliffläche ist bei zugeschmolzenen Dosenlibellen mehr oder minder verunstaltet;

b) die Verunstaltungen sind unregelmäßig und — naturgemäß — am stärksten am Rande, gehen aber häufig bis in die Nähe des Normalpunktes;

c) in der Nähe des Normalpunktes ist die Verunstaltung selten so groß, daß sie störend wirken könnte;

d) bei den nicht zugeschmolzenen Dosenlibellen zeigt die Schliffläche in der Regel nur am Rande nennenswerte Abweichungen.

7. Es wurde weiter für jede Dosenlibelle aus je 25 auf dem Libellenprüfer durchgeführten Bestimmungen jeder der beiden Komponenten festgestellt, wie groß der

Tafel 6.
Temperatur + 18° C.

Nr.	Verfertiger	Durchmesser			Abstand von Kreis und Blase	Angabe A			m_f	Bemerkungen
		des Glaskörpers	des Einstellkreises	der Blase		größte	kleinste	mittlere		
		mm	mm	mm	mm	′	′	′	″	
					Dosenlibelle aus zwei Teilen					
1	A	43	12,9 u. 18,4	8,6	2,15	7,5	7,2	7,4	± 15,1	Metallkörper Ausgelaufen
2	A	43	11,9 u. 18,6	8,9	1,5	8,1	7,0	7,5	10,9	Metallkörper Ausgelaufen
3	A	29	„	7,9	0,2	3,0	2,3	2,5	9,4	Glaskörper Ausgelaufen
4	A	29	9,0	7,2	0,9	3,2	2,3	2,6	8,6	Glaskörper
5	A	17	4,8	3,9	0,45	3,3	2,0	2,6	5,8	Glaskörper Ausgelaufen
6	A	17	4,9	3,8	0,55	4,3	3,2	3,7	6,2	Glaskörper
7	A	17	5,2	4,2	0,5	4,5	2,3	3,9	4,3	Glaskörper Ausgelaufen
8	A	17	5,2	4,1	0,55	9,0	6,5	7,7	7,2	Glaskörper
					Zugeschmolzene Dosenlibellen					
9	B	22	7,0	5,8	0,6	7,5	3,1	6,3	7,1	
10	B	21	7,0	5,8	0,6	8,2	4,1	7,0	6,2	
11	B	21	6,9	5,4	0,75	12,9	7,1	9,4	7,9	
12	B	21	7,4	5,2	1,1	20,9	12,1	16,0	12,8	
13	B	20	7,5	6,2	0,65	12,3	8,4	10,9	6,2	
14	B	20	7,0	6,0	0,5	24,3	15,7	20,8	8,3	
15	B	19	7,6	6,2	0,7	5,9	3,2	4,2	4,9	
16	B	17	7,0	6,0	0,5	7,9	6,4	7,1	5,6	
17	B	17	7,1	6,2	0,45	24,0	20,0	21,5	8,7	
18	C	29	10,2	9,2	0,5	7,0	4,3	5,2	7,9	
19	C	24	8,3	6,8	0,75	10,0	5,1	6,3	9,2	
20	C	19	6,6	5,4	0,6	13,2	8,7	10,8	8,5	
21	D	26	8,0	6,0	1,0	5,3	3,0	4,2	7,0	
22	D	26	8,0	6,8	0,6	13,7	8,0	9,2	7,1	
23	D	26	8,0	6,4	0,8	20,4	17,3	18,9	11,5	
24	D	26	8,0	7,0	0,5	22,0	18,1	19,9	9,8	

mittlere Einstell- oder Einspielfehler m_f für senkrechte Draufsicht ist, wie genau man also die Libellenblase in den Einstellkreis „zentrieren“ kann.

Die errechneten Werte sind in der Tafel 6 nachgewiesen.

Betrachtet man die Reihe der m_f, so sieht man, daß der Einzelwert zwar auch durch die Angabe, in erster Linie aber durch den Abstand von Einstellkreis und Blasenrand beeinflußt wird und daß ein Unterschied zwischen den zugeschmolzenen und den aus 2 Teilen bestehenden Dosenlibellen nicht vorhanden ist.

Faßt man die Libellen mit einem Abstand von Einstellkreis und Blase von 0,45 bis 0,6 mm zusammen, so steigt — nach einer zeichnerischen Ausgleichung — für eine Änderung der Angabe A von etwa 2,5′ bis 21,5′ der mittlere Fehler m_f von etwa ± 5″ bis ± 9,5″. Für A von 5′ bis 10′ wird man im Mittel mit einem mittleren Fehler m_f von etwa ± 7″ zu rechnen haben.

Um den Einfluß der Temperatur auf die Blasengröße zu bestimmen, ermittelte ich diese mehrfach bei Temperaturen zwischen — 2° C und + 38° C. Ich fand als Änderung des Blasendurchmessers für 1° C bei den Libellen

Nr. 1	7	13	16
0,063	0,035	0,033	0,031 mm.

P. Samel [6, S. 158] erhielt für Temperaturen zwischen + 3° C und + 30° C bei seinen Libellen

Nr. 1	4
0,059	0,081 mm.

Nimmt man eine Dosenlibelle von der bei geodätischen Instrumenten in der Regel verwendeten mittleren Größe an mit einem Durchmesser des Einstellringes von 7,0 mm, der Blase bei + 18° C von 6,0 mm, so beträgt der Abstand von Einstellkreis und Blasenrand bei einer Temperatur von

— 2°	0,2 mm,
+ 18°	0,5 mm,
+ 38°	0,8 mm.

8. Bei Dosenlibellen, die mit Nivellierinstrumenten verbunden sind, ist die unmittelbare oder durch einen Spiegel vermittelte senkrechte Draufsicht in der Regel möglich, während beim Theodolit die Dosenlibelle meist in der oben durch Fernrohr und Höhenkreis abgedeckten Fernrohrstütze angebracht wird. Man wird daher so verfahren müssen, wie es K. Haußmann [8, S. 244] geschildert hat.

Um auch für diesen Fall einwandfreie Zahlenwerte zu erhalten, habe ich auch für schrägen Draufblick den mittleren Einstellfehler der Blase und zwar für sorgfältige (m_g) und flüchtige (m_h) Beobachtung ermittelt, indem wiederum die hier in der Regel stark verschiedenen beiden Komponenten ermittelt wurden. Die Ergebnisse zeigt die Tafe 7.

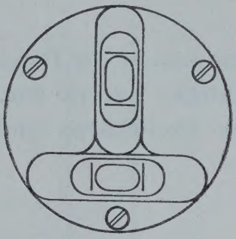
Tafel 7.

Nr. der Libelle	Angabe A ′	Abstand von Kreis und Blase mm	m_f ″	m_g ″	m_h ″
6	3,7	0,55	± 6,2	± 10,8	± 20,6
8	7,7	0,55	7,2	9,4	24,3
9	6,3	0,6	7,1	11,3	18,6
14	20,8	0,5	8,3	16,2	19,1
18	5,2	0,5	7,9	9,9	26,5
22	9,2	0,6	7,1	14,0	18,8

Die Tafel 7 zeigt, daß der mittlere Einstellfehler der Blase bei der bei Theodoliten nahezu stets vorkommenden schrägen Draufsicht beträchtlich ansteigt und daß er sich bei nicht genügender Sorgfalt noch erheblich steigert.

9. Um die bei der schrägen Draufsicht bei mangelnder Vorsicht zu befürchtenden Fehler auszuschalten, hat die Firma C. Sickler auf Veranlassung von H. Hohenner vor längeren Jahren eine „Kreuzstrich-Dosenlibelle“ in den Handel gebracht, bei der der Einstellring durch ein Quadrat mit verlängerten Seiten ersetzt worden ist. „Versuche mit einer 4′-Libelle haben die Einstellgenauigkeit von 20″ ergeben“ [10]. E. Hammer [10] glaubt nicht, daß dieser Konstruktion ein großes Anwendungsfeld offen steht. K. Haußmann [8, S. 242] meint, daß „eine besondere Vorrichtung zur Vermeidung der Parallaxe bei der Einstellung der Dosenlibelle überflüssig“ ist.

10. An Stelle der Dosenlibelle haben einige Feinmechaniker, so z. B. Reinisch [**11**, S. 208; **12**, S. 41] in Wien und M. Hildebrand in Freiberg eine „Dosenkreuzlibelle“ verwendet. M. Hildebrand ordnete zwei kleine Röhrenlibellen in einer niedrigen Fassung so an, wie es die Abbildung zeigt. Die 20 bis 23 mm langen Röhrenlibellen hatten eine Angabe von 1′ bis etwa 8′ (für Nivellierlatten) auf die paris. Linie; sie wurden nicht durch Schleifen, sondern mit einer sinnreichen, von M. Hildebrand gebauten Vorrichtung durch Biegen angefertigt. Eine Prüfungseinrichtung erlaubte die schnelle Feststellung der Angabe und der genügenden Gleichmäßigkeit der Biegungskurve. Das zu ihnen verwendete Röhrenglas wurde so hergestellt



daß es auf der unteren Hälfte mit einer dünnen Schicht Milchglas überfangen war; die Blase hob sich dann besonders gut ab. Auf der oberen Fläche der Libelle waren zwei Teilstriche angebracht deren Abstand 0,6 bis 1,0 mm größer war, als die Blasenlänge bei mittlerer Temperatur. Öfters, besonders bei den für Nivellierlatten bestimmten Dosenkreuzlibellen, wurden die beiden Teilstriche fortgelassen; die Blase mußte dann in die Mitte des Ausschnittes der Fassung einspielen.

Ich untersuchte auch einige Dosenkreuzlibellen auf die Genauigkeit, mit der die Blase zum Einspielen zwischen die beiden Teilstriche gebracht werden kann. Die Ergebnisse zeigt die Tafel 8, in der m_i den mittleren Einstellfehler der Libelle 1, m_k den der Libelle 2 bezeichnen und

$$m_l^2 = m_i^2 + m_k^2$$

ist.

Tabelle 8.
Temperatur + 18° C.

Nr.	Libelle 1				Libelle 2				
	Abstand der Teilstriche mm	Blasenlänge mm	A ′	m_i ″	Abstand der Teilstriche mm	Blasenlänge mm	A ′	m_k ″	m_l ″
1	8,0	7,0	1,5	± 1,3	7,5	6,5	1,5	± 1,2	± 1,8
2	7,8	7,0	2,3	1,9	7,8	6,8	2,6	2,3	3,0
3	7,8	7,0	4,3	2,1	7 8	7,0	4,0	1,7	2,7
4	7,8	6.8	6,7	2,7	7,6	6,6	5,6	2,6	3,8
5	7,6	6,6	7,5	3,1	7,8	6,8	7,3	1,8	3 6
6	7,8	6,8	8,8	2,4	7,8	6,8	8,9	2,2	3,3

Wie die Tafel 8 zeigt, gibt die Dosenkreuzlibelle mit geeigneten kleinen Röhrenlibellen bei entsprechender Sorgfalt eine beträchtliche Genauigkeit, die allerdings gegenüber der gewöhnlichen Dosenlibelle mit einem Verlust an Bequemlichkeit und einem größeren Zeitaufwand bezahlt werden muß.

11. Bei Theodoliten und ähnlichen Instrumenten ist es, wie schon gesagt, in der Regel nicht möglich, senkrecht auf die Libelle zu schauen; man muß vielmehr seitlich und zwar vom Okular- oder Objektivende des Fernrohres her blicken oder durch die Fernrohrstützen, falls diese durchbrochen sind, hindurchsehen. In diesem Fall muß sich der Beobachter die Stellung merken, die die Libellenblase gegen den Teilring haben muß, um richtig einzuspielen. Diese Notwendigkeit, deren Nichtbeachtung störende Fehler zur Folge hat, veranlaßte viele Beobachter, der Dosenlibelle, die innerhalb der Fernrohrstützen eines Theodolits angebracht ist, sogen. Kreuzlibellen, also ein Paar „kreuzweis“ zueinander angeordnete Röhrenlibellen von in der Regel ∼ 60″ Angabe vorzuziehen.

Bei Theodoliten usw., die zu untertägigen oder nächtlichen Messungen verwendet werden sollen, kommt die Dosenlibelle, da sie schlecht zu beleuchten ist, nicht in Frage; man verwendet hier nur „Kreuzlibellen". Eine Ausnahme bildeten lange die Grubensignale, bei denen die Dosenlibelle der Beleuchtung allseitig zugänglich war [**13**, S. 320 bis 323, 327].

Bei Tachymeteraufnahmen und ähnlichen übertägigen Arbeiten erleichtert und beschleunigt die gut sichtbare Dosenlibelle zweifellos die Arbeit mit dem Theodolit. Da aber auch der Grubentheodolit zu solchen Arbeiten geeignet sein soll, ist es empfehlenswert, den üblichen, für Messungen über und unter Tage benutzten und benutzbaren Theodolit mit einer Dosenlibelle und zwei in einem rechten Winkel zueinander angeordneten Röhrenlibellen, sogen. Kreuzlibellen, auszustatten.

12. Die mitgeteilten Ergebnisse meiner Untersuchungen haben in Übereinstimmung mit P. Samel [**6**] und K. Haußmann [8] gezeigt, daß die heute allgemein verwendete zugeschmolzene Dosenlibelle aus einem Glaskörper bei sachgemäßer Ausführung allen Ansprüchen genügt, die man an sie als einen Bestandteil eines geodätischen Vermessungsinstrumentes stellen kann.

Angezogene Schriften.

1. J. Weisbach, Der Ingenieur. 5. Aufl. Braunschweig, 1868.
2. B. Weinstein, Handbuch der physikalischen Maßbestimmungen. Bd. 2. Berlin, 1888.
3. E. Hammer, Neue, gegen Unbrauchbarwerden gesicherte Dosenlibelle. *Diese Zeitschr.* ***24.*** *S. 362—363. 1904.*
4. C. Reinhertz, Eine neue Dosenlibelle (nach Mollenkopf). *Zeitschr. f. Vermw.* ***33.*** *S. 699—700. 1904.*
5. G. Ehrhardt, Neue Dosenlibelle. *Der Mechaniker* ***17.*** *S. 29—30. 1909.*
6. P. Samel, Genauigkeit der Lotrechtstellung von Stehachsen mit Dosenlibellen aus einem einzigen Glaskörper und mit solchen älterer Form. *Zeitschr. f. Vermw.* ***40.*** *S. 149—160. 1911.*
7. Ch. A. Vogler, Geodätische Übungen. 2. Teil. 2. Aufl. Berlin, 1901.
8. K. Haußmann, Glasdosenlibelle für Feldmeßinstrumente. *Zeitschr. f. Vermw.* ***49.*** *S. 241—245. 1920.*
9. H. Löschner, Die Einstellgenauigkeit bei Mollenkopfschen Werkstattwasserwagen. *Diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 1—12. 1924.*
10. E. Hammer, Kreuzdosenlibelle. *Diese Zeitschr.* ***33.*** *S. 315. 1913.*
11. Fr. Hartner — J. Wastler — E. Doležal — Hand- und Lehrbuch der niederen Geodäsie. 1. Bd. 1. Hälfte. 10. Aufl. Wien, 1910.
12. H. Löschner, Instrumente der praktischen Geometrie. Wien und Leipzig, 1906.
13. C. M. v. Bauernfeind, Elemente der Vermessungskunde. 6. Aufl. 1. Bd. Stuttgart, 1879.

Besondere Vorrichtungen zum Beobachten des Libellenstandes bei Nivellierinstrumenten.

Von

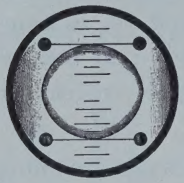
P. Werkmeister in Dresden.

Bei den von C. Zeiss gebauten Nivellierinstrumenten hat H. Wild seinerzeit eine besondere Vorrichtung zum Beobachten des Libellenstandes eingeführt; sie besteht bekanntlich darin, daß die beiden Enden der längs geschnittenen Libellenblase mit Hilfe eines Prismensystems zusammengespiegelt werden. Die Vorrichtung hat den Vorteil, daß der Beobachter zwischen dem Beobachten der Libelle und der Sicht durch das Fernrohr nur den Kopf etwas nach der Seite zu bewegen hat. Unbequem wirkt bei der Vorrichtung die geringe Größe des Gesichtsfeldes, in dem die beiden Blasenenden zu sehen sind; ferner der Umstand, daß man nach einer Sicht

durch das Fernrohr durch Hin- und Herbewegen des Kopfes in der Libellenrichtung das Auge zuerst in die richtige Sehweite zu den Blasenbildern bringen muß.

Die beiden Unbequemlichkeiten bei der Zeissschen Einrichtung sind vermieden bei einer neuerdings von der Firma Otto Fennel Söhne hergestellten Vorrichtung.

Sie besteht aus einem über der Mitte der Libelle angebrachten Prismensystem in Verbindung mit einem schwach vergrößernden Mikroskop. Blickt man bei einspielender Libelle in das Mikroskop, so sieht man die Teilung und die Blase der Libelle so wie es die nebenstehende Abbildung zeigt. Das Okular des Mikroskops befindet sich unmittelbar über demjenigen des Fernrohrs; sind beide Okulare der deutlichen Sehweite des Beobachters entsprechend eingestellt, so ist die Beobachtung des Libellenstandes äußerst bequem.



Bei einem mir vorübergehend zur Verfügung gestellten Instrument hatte die Libelle eine Empfindlichkeit von rund 20 Sekunden; der Abstand der Striche der Libellenteilung betrug 0,5 mm. Eine Untersuchung des Instruments hat gezeigt, daß man mit Benutzung der vorhandenen Kippschraube die Libelle ohne Parallaxenfehler verhältnismäßig rasch und sehr genau zum Einspielen bringen kann. In Verbindung mit einer planparallelen Platte vor dem Fernrohrobjektiv wird die neue Vorrichtung besonders bei der Ausführung von Feinnivellements sicher gute Dienste leisten.

Darauf hinzuweisen ist noch, daß auch die Firma F. W. Breithaupt & Sohn eine ähnliche Vorrichtung baut; sie unterscheidet sich von der oben beschriebenen insbesondere dadurch, daß die beiden Blasenenden der Libelle nicht mit Hilfe von Prismen, sondern mit Benutzung von Spiegeln in das Gesichtsfeld des Mikroskops gespiegelt werden.

Referate.

Über die Parallelrichtung des Lichts im Falle einer Lichtquelle endlicher Ausdehnung.

(Collimation of light from a source of finite extension.)

Von Ludwik Silberstein. *Journ. Opt. Soc. Amer.* **13.** *S. 281—289. 1926.*

Bekanntlich ist es nur bedingt richtig, im Falle einer Lichtquelle endlicher Ausdehnung von der Parallelrichtung des Lichtes durch einen Kollimator zu reden, indem zwar jeder Punkt der Lichtquelle ein Lichtbündel entsendet, das hinter dem Kollimator bei Annahme völliger Fehlerfreiheit streng parallel austritt, aber unter einem endlichen Winkel gegen die optische Achse gerichtet ist, sobald der Punkt der Lichtquelle außerhalb derselben liegt. Die Gesamtheit dieser Lichtbündel ist also keineswegs parallel zu nennen. Die Lichtquelle ist dabei in der Brennebene des Kollimators angenommen worden. Verf. untersucht nun, ob es möglich ist, durch Verlagerung der Lichtquelle entlang der Achse, die Parallelität besser anzunähern. Es wird zu diesem Zweck ein „mittlerer Neigungswinkel" des austretenden Bündels definiert, der ein Maß für die Abweichung von der Parallelität darstellen soll. Dieser ergibt sich nach den Gesetzen der Ausgleichsrechnung durch zweimalige Integration, erst über die Öffnung des abbildenden Systems, dann über die Lichtquelle. Wenn die Lichtquelle im Brennpunkt steht, ergibt sich für den mittleren Neigungswinkel der Betrag

$$\Omega = \frac{2}{3}\frac{r}{f},$$

wo r der Radius einer kreisförmig angenommenen Lichtquelle ist und f die Brennweite des Systems.

Wenn hingegen die Lichtquelle in einer beliebigen Entfernung x von dem System angenommen wird, so beträgt der mittlere Neigungswinkel bei der Systemöffnung $2R$

$$\Omega = \frac{R(x-f)}{2fx}\left[1+\frac{1}{2}\frac{r^2}{R^2}\left(\frac{f}{x-f}\right)^2\right] \quad \text{für} \quad x \geqq f\left(1+\frac{r}{R}\right),$$

$$\Omega = \frac{1}{3}\frac{R^3(x-f)^3}{f^3r^2x}\left[\frac{1}{4}+2\frac{r^3}{R^3}\left(\frac{f}{x-f}\right)^3\right] \quad \text{für} \quad f \leqq x \leqq f\left(1+\frac{r}{R}\right).$$

Die beste Annäherung an die Parallelität tritt für den Wert von x ein, für welchen der mittlere Neigungswinkel Ω ein Minimum wird. Dies findet statt, wenn

$$\frac{x}{f} = \alpha\left[1 \pm \sqrt{1-\frac{1}{\alpha}}\right] \quad \text{für} \quad x \geqq f\left(1+\frac{r}{R}\right),$$

wo

$$\alpha = 1+\frac{1}{2}\frac{r^2}{R^2},$$

und wenn $\frac{x}{f}$ der kubischen Gleichung

$$\left(\frac{x}{f}\right)^3 - \frac{3}{2}\left(\frac{x}{f}\right)^2 + \beta = 0 \quad \text{für} \quad f \leqq x \leqq f\left(1+\frac{r}{R}\right),$$

wo

$$\beta = \frac{1}{2}\left(1-8\frac{r^3}{R^3}\right).$$

Anwendungsbeispiel:

$r = 5$ mm, $R = 12{,}5$ mm, $f = 100$ mm,

$x = f$, $x = 1{,}3700\,f$ (einziges Minimum),

$\Omega = 1^0\ 55'$, $\Omega = 1^0\ 31{,}9'$.

Flügge.

Verwendung photoelektrischer Zellen für Beobachtung und Betrieb von Pendeluhren.

Von G. Ferrié und R. Jouaust. *Compt. Rend.* ***180.*** *S. 1145. 1925.*

Über ein durch photoelektrischen Strom betriebenes freies Pendel und seine Verwendung im Zeitdienst.

Von G. Ferrié und R. Jouaust. *Compt. Rend.* ***184.*** *S. 56. 1927.*

Die im „*Bureau International de l'Heare*" an den Leroyschen luftdichten Pendeluhren angestellten Messungen haben ergeben, daß die zwischen zwei aufeinander folgenden Sekundenkontakten liegenden Zeitintervalle zuweilen Unterschiede von mehr als 0,01 s zeigen. Will man also mittels elektrischer Uhrkontakte kleine Zeitintervalle mit höchster Genauigkeit messen, so können derartige Unterschiede zu störenden Messungsfehlern führen.

Um dies zu vermeiden, ersetzen die Verfasser den ganzen mechanischen Apparat der Sekundenkontakte durch einen photoelektrischen Apparat. Auf dem Pendel einer im Keller der Pariser Sternwarte aufgestellten Uhr ist ein kleiner Spiegel angebracht, der in dem Augenblick, wo das Pendel durch die Vertikale schwingt, einen auf ihn fallenden Lichtstrahl mittels eines passend angeordneten optischen Systems auf eine im Erdgeschoß befindliche Kaliumzelle wirft. Die kurze Belichtung der Zelle genügt zur Schließung eines photoelektrischen Stroms, und dieser wird auf einem Chronographen registriert. Diese Registrierung wurde nun möglichst genau mit der durch die gewöhnlichen Kontakte erhaltenen verglichen. Zwecks Vermeidung der von Gangunregelmäßigkeiten des Chronographen herrührenden Fehler wurden gleichzeitig auf ihm die Schwingungen einer elektrisch betriebenen kontaktlosen Stimmgabel registriert.

Bei diesem Verfahren fallen also die von den Uhrkontakten herrührenden Unregelmäßigkeiten fort, aber die mit dem Antriebmechanismus der Pendelschwingung und mit dem Uhrwerk zusammenhängenden bleiben bestehen: sie können bis zu 0,007 s ansteigen und zeigen zuweilen Perioden von einer Minute. Die Verfasser haben auch diesen Mangel zu beseitigen versucht, indem sie jeden Einfluß des Uhrwerks und jeden wirklichen Kontakt mit dem Pendel dadurch ausschalten, daß dessen Schwingungen selbst wieder durch den photoelektrischen Strom geregelt werden. Dieser wird durch die Windungen einer kernlosen Spule geleitet, in die der eine Arm eines am Ende des

„freien Pendels" befestigten Hufeisenmagneten bei jedem Ausschlag eindringt. Derselbe photoelektrische Strom wirkt dadurch gleichzeitig auf eine ähnliche Regelungsvorrichtung für ein zweites Pendel, das, mit Zifferblatt versehen, die Sekundenzählung leistet, sowie auf einen Registrierapparat und ein Telephon zum Abhören der Pendelschwingungen. Bei guter Ausrichtung des optischen Systems durchläuft der Strom die Spule genau in dem Zeitpunkt, wo das Pendel durch seine Vertikallage hindurchgeht, und seine Schwingungsperiode ist derjenigen des Pendels gleich. Bei ungenauer Ausrichtung tritt zwar eine Phasenverschiebung ein, die Schwingungen bleiben jedoch völlig gleichmäßig.

Eine Schwierigkeit lag noch darin, daß die Zelle bei jedem Durchgang des Pendels durch die Vertikale belichtet wird, aber das Pendel nur bei jeder Doppelschwingung einen Antrieb erhalten soll. Deshalb benutzten die Verfasser zwei Leroysche Halbsekundenpendel, deren eines, nämlich das mit dem Zifferblatt versehene sekundäre Pendel, den Synchronisierungsstrom des Systems nur einmal bei jeder Doppelschwingung schließt, z. B. wenn das primäre Pendel nach rechts, nicht aber wenn es nach links schwingt, und zwar kurz vor dem Durchgang durch die Vertikale. Um keine Störung im Schwingungsbetrieb hervorzurufen, darf dieser Stromschluß keinem andern Strom Durchgang gestatten, bevor der durch die Belichtung der Zelle verursachte eintritt; diese Sicherung wird durch geeignete Wahl der Verstärkerlampen gegeben.

Die Schwingungsperiode des so automatisch geregelten Pendels wurde mehrmals während längerer Zeit (bis zu 10 Stunden) mit möglichster Genauigkeit gemessen und mit der Periode ebendesselben als freies Pendel ohne Regelung schwingenden Pendels verglichen: beide Perioden zeigten keine merkbare Änderung und stimmten bis auf 0,001 s überein[1]). Zuweilen auftretende größere Unterschiede rühren anscheinend von äußeren Einflüssen oder von Unvollkommenheiten des Chronographen her, und die Verfasser rechnen damit, daß bei photographischer Registrierung auch diese Unterschiede verschwinden werden.

Ein so betriebenes Pendel gestattet also, Zeitintervalle von begrenzter Dauer mit sehr großer Genauigkeit zu messen. Es würde allerdings eine beständig in Gang befindliche Hauptuhr einer Sternwarte kaum ersetzen können, denn die Batterien entladen sich verhältnismäßig schnell, und ihr Abfall kann den Schwingungsbogen und damit auch die Periode des Pendels ändern. Störungen, wie man sie als Folge von Batteriewechsel befürchten kann, scheinen weniger von Belang zu sein, denn ein solcher Wechsel ließe sich durch momentane Umschaltung vornehmen, sofern man zwei Batterien zur Verfügung hält, deren eine stets geladen wird, während die andere arbeitet.

Da der bei den früheren Versuchen eingeschlagene Weg sich als gangbar erwiesen hatte, veranlaßten die Verfasser die Konstruktion eines neuen freien Pendels von Brillié mit mehreren Verbesserungen, deren hauptsächlichste sich auf den alternierenden Stromschluß bezieht. Anstatt den Verstärkerstrom während einer Halbschwingung zu unterbrechen, bedient das sekundäre Pendel durch einen Kontakt einen Verschluß, der während einer Halbschwingung den vom Spiegel des freien Pendels auf die Zelle fallenden Lichtstrahl abdeckt.

Mit Hilfe eines freien Pendels in derartig vervollkommneter Form kann man nun die Uhren einer Sternwarte, sowohl untereinander als auch mit funkentelegraphischen Zeitsignalen, mit einer zuvor nicht erreichten Genauigkeit vergleichen. Auch die unmittelbare Ausgabe derartiger Zeitsignale läßt sich mit einem solchen Pendel durch Einschaltung eines Relais in den Betriebsstromkreis ausführen, das seinerseits den Sender bedient. Die so gegebenen Funkenzeitsignale des Eiffelturms wurden zugleich mit dem sie erzeugenden photoelektrischen Strom im *Bureau International de l'Heure* registriert: naturgemäß zeigten sich in jenen etwas größere Unterschiede der Sekundenlänge, nämlich bis zu 0,003 s. Dies ist aber, da hierbei 3 Relais (2 von Baudot und 1 von Creed) mitwirken, durchaus erklärlich und überdies belanglos, da die rein technischen Fehler der Sendung oft den Betrag von 0,01 s erreichen. *Messow.*

---

[1]) Die in *Compt. Rend.* ***180***, *S. 1147* genannte Zahl $^1/_{10\,000}$ steht nicht in Einklang mit den Angaben von *Compt. Rend.* ***184***, *S. 57*, und dürfte wohl als Druckfehler (richtig $^1/_{10\,0}$) anzusehen sein (Ref.).

Ein neuer Breithaupt-Reisetachymeter.

Von E. Gigas. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1927. S. 105.*

Dieser Tachymetertheodolit mit Nonienablesung unterscheidet sich von früheren Bauarten insbesondere dadurch, daß alle feineren Teile verdeckt worden sind. Die vom Verfasser im Institut für Vermessungskunde der Technischen Hochschule Berlin mit dem Instrument vorgenommenen Messungen haben gezeigt, daß es sich „besonders gut für ingenieurtechnische Arbeiten eignet“ und daß es sich auch „mit Vorteil bei Grubenmessungen, auf Expeditionen und fast bei allen Messungen vorteilhaft verwenden läßt“. *P. Werkmeister.*

Der mittlere Zielfehler bei Winkelmessungen für Kleintriangulation.

Von K. Lüdemann. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1927. S. 100.*

Die Mitteilung enthält zunächst die Ergebnisse von zahlreichen, mit zwei 8 cm-Theodoliten mit Schraubenmikroskopen ausgeführten Messungen, die sich dadurch unterscheiden, daß das eine Instrument 18 fache und das andere 20 fache Fernrohrvergrößerung hat. Die Untersuchung hat gezeigt, daß bei sehr günstigen Beobachtungsverhältnissen bei beiden Fernrohren der mittlere Zielfehler derselbe ist, daß aber bei mittleren oder gar wenig günstigen Beobachtungsverhältnissen das Fernrohr mit stärkerer Vergrößerung den Vorzug verdient.

Außerdem wurde mit einem mit zwei Okularen mit 19- und 25facher Vergrößerung ausgerüsteten 12 cm-Theodolit mit Schraubenmikroskopen der mittlere Zielfehler bestimmt; dabei zeigte es sich, daß die Steigerung der Vergrößerung vom 19- auf das 25 fache bei sehr günstigen und mittleren Verhältnissen einen kleinen Vorteil bietet, bei wenig günstigen Verhältnissen dagegen einen Nachteil mit sich bringt.

Auch diese Untersuchungen ergaben, daß man für den mittleren Zielfehler μ bei einer v-fachen Vergrößerung setzen kann $\mu = \frac{c}{\sqrt{v}}$. Für die Größe c fand der Verfasser auf Grund seiner Messungen die Werte $5'',7$ bei sehr günstigen, $6'',5$ bei günstigen, $7'',6$ bei mittleren und $9'',5$ bei wenig günstigeren Verhältnissen. *P. Werkmeister.*

Über die Form des Fadenkreuzes.

Von A. Tichy. *Allgem. Verm.-Nachr. 1927. S. 265.*

Der Verfasser hat bei einer Forsttriangulierung die Erfahrung gemacht, daß die Größe des Zielfehlers im allgemeinen weniger von der Vergrößerung des Fernrohrs abhängig ist als von anderen Umständen; als solche gibt er an die Beleuchtung oder Sichtbarkeit des Zielpunkts, die Veränderlichkeit der Refraktion, die Entfernung des Zielpunkts und die Form des Fadenkreuzes. Auf Grund seiner Beobachtungen schließt der Verfasser, daß insbesondere bei großen Sichten die Form des Fadenkreuzes „eine der wichtigsten Ursachen für die Größe des Zielfehlers sein kann“.

Abb. 1.

Abb. 2.

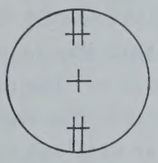


Abb. 3.

Das „Überfüllen des Gesichtsfeldes mit unnötigen Strichen“ wird als nachteilig bezeichnet. Diejenige Form des Fadenkreuzes, bei der für Horizontalwinkelmessungen ein einfacher und darunter ein doppelter Strich vorgesehen ist, wird als ungeeignet erklärt für Beobachtungen mit großen Sichten; für solche wird ein kleines, das Gesichtsfeld möglichst freilassendes Kreuz empfohlen.

Im einzelnen werden auf Grund der gemachten Erfahrungen die folgenden Formen für das Fadenkreuz oder die Zielmarke vorgeschlagen: Für große und einfache, zur Horizontalwinkelmessung bestimmte Theodolite die hier in der Abb. 1 angegebene Form; für große, zur Messung von Horizontal- und Vertikalwinkeln bestimmte Theodolite diejenige der Abb. 2; und für Theodolite zur Polygonzugmessung und zur tachymetrischen Punktbestimmung die Form der Abb. 3.

P. Werkmeister.

Ein neues Reihenbildgerät für Luftmeßaufnahmen.

Von F. Schneider. *Bildmessung und Luftbildwesen. 1. Jahrg. S. 29. 1926.*

Das in einer Mitteilung aus der optischen Werkstätte von Carl Zeiss, Jena, beschriebene Gerät ist eine „auf Grund der gewonnenen praktischen Erfahrungen mit früheren Konstruktionen“ entstandene selbsttätig arbeitende Reihenbildmeßkammer.

Das verzeichnungsfreie Objektiv der Kammer hat 21 cm Brennweite und das Öffnungsverhältnis 1 : 4,5. Der zwischen den Linsen des Objektivs angeordnete Zentralverschluß kann mit Hilfe eines Knopfes auf $^1/_{75}$, $^1/_{100}$, $^1/_{130}$ und $^1/_{160}$ Sekunde eingestellt werden. Zwei Gelbscheiben — eine dreifache und eine fünffache — sind derart angebracht, daß man entweder mit der einen oder der anderen, oder auch ohne Gelbscheibe arbeiten kann. Der Anlegerahmen ist mit vier optischen Lochmarken und einer Dosenlibelle versehen, deren Blase zusammen mit einer Gradteilung auf jeder Aufnahme abgebildet wird. Durch eine selbsttätig wirkende Zählvorrichtung werden die einzelnen Aufnahmen fortlaufend bezeichnet. Die Aufhängung der Kammer erfolgt kardanisch.

Mit Hilfe eines Geschwindigkeitsmessers über Grund im Gesichtsfeld eines Sucherfernrohrs und einem „Überdeckungsregler" kann der Beobachter Überdeckung, Abtrift, Vertikalstellung der Kammer und Richtung der aufeinanderfolgenden Aufnahmen fortwährend übersehen und erforderlichenfalls Neueinstellungen an der Kammer vornehmen. Der Antrieb der Kammer und des Überdeckungsreglers erfolgen durch einen außen am Flugzeug angeschraubten Propeller. Außerdem können die Aufnahmen auch durch Drehen eines Handrades ausgeführt werden.

Die Aufnahmen erfolgen auf einem 60 m langen und 190 mm breiten Filmstreifen, mit dem 460 Aufnahmen hintereinander ausgeführt werden können. An einer besonderen Zählvorrichtung der Kassette kann in jedem Augenblick die Länge des noch nicht belichteten Filmstreifens abgelesen werden. Die 10 mm breiten Zwischenräume zwischen je zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen werden bei der Aufnahme fühlbar bezeichnet, so daß der Filmstreifen schon vor der Entwicklung zerschnitten werden kann.

Im Augenblick der Aufnahme wird der Filmstreifen durch Staudruck gegen eine ebene Platte gedrückt und von dieser an den Anlegerahmen gepreßt. *P. Werkmeister.*

Flugzeug-Stereokammer zur Herstellung von räumlichen Aufnahmen aus dem Flugzeug aus niederer Höhe, insbesondere von Stadtarchitekturen.

Mitt. a. d. Arbeitsgeb. des Konsortiums Luftbild-Stereographik in München. II. Jahrg. Nr. 5.

Diese nach den Angaben von H. Lüscher gebaute Kammer ist eine zu Stereoaufnahmen aus dem Luftfahrzeug bestimmte Doppelkammer mit 18 cm Brennweite und dem üblichen Stereoformat 9 × 18 cm. Die Blenden, die Belichtungszeit und die Verschlußspannung werden für beide Kammern gemeinsam eingestellt; für die Auslösung der Verschlüsse sind getrennte Drücker vorhanden.

Die Kammer kommt hauptsächlich für architektonische, städtebauliche und kunstgeschichtliche Zwecke in Frage. *P. Werkmeister.*

Das Entzerrungsgerät des Konsortiums Luftbild-Stereographik, Modell 1926.

Von C. Aschenbrenner. *Bildmessung und Luftbildwesen. 1. Jahrg. S. 37. 1926.*

Das von dem Konsortium Luftbild-Stereographik hergestellte Gerät zum Entzerren von nahezu vertikal aufgenommenen Fliegerbildern[1]) hat insofern eine wesentliche Verbesserung erfahren als an die Stelle der seitherigen „halbautomatischen" Steuerung eine „vollautomatische" getreten ist. Auch die Maßstabsveränderlichkeit ist bei der neuen Ausführung größer als bei der seitherigen; sie reicht jetzt vom 0,5fachen bis zum 3,25fachen des Bildmaßstabes.

Das neue Gerät ist mit zwei, in ihren Anwendungsbereichen sich weit übergreifenden, Objektiven mit 18 cm und 21 cm Brennweite ausgestattet. In bezug auf den Neigungswinkel reicht das Gerät wieder bis 15 Grad. Das Gerät kann für Platten- und Filmaufnahmen bis zu 18 × 24 cm verwendet werden. *P. Werkmeister.*

Die geometrische Theorie der mechanischen Entzerrung von ebenen Fliegeraufnahmen.

Von F. Schilling. *Zeitschr. f. Vermessungswesen* ***55****. S. 289—304 und 321—333. 1926.*

Der Verfasser behandelt die geometrische Theorie der folgenden Aufgabe: Ein von einem ebenen Geländestück aus einem Luftfahrzeug aufgenommenes Bild, von dem die innere Orientierung — Brennweite und Hauptpunkt — sowie die Neigung und die Verkantung bekannt sind, soll

---

[1]) Vgl. C. Aschenbrenner, Über ein halbautomatisches Entzerrungsgerät für den praktischen topographischen Gebrauch. *Diese Zeitschr.* ***45****. S. 333. 1925.*

derart umgeformt werden, daß es die Eigenschaften eines vertikal aufgenommenen Bildes mit bestimmtem Maßstab hat.

Für die Lösung dieser Aufgabe werden zunächst die geometrischen und optischen Grundlagen angegeben; sodann werden die „zwischen den gegebenen Größen und den für das Einstellen des Entzerrungsgeräts notwendigen Größen“ bestehenden Gleichungen aufgestellt. Im Anschluß an „das Einstellen des Entzerrungsgerätes bei einem gegebenen Maßstab der Entzerrung“ wird das Einstellen des Gerätes behandelt für den Fall, daß das Objektiv nicht gedreht werden kann, und für den Fall, daß die Bildebene nicht gedreht werden kann.

Bei der Erwähnung der während des Krieges gebauten Entzerrungsgeräte sagt der Verfasser, daß ihm das Jaeger-Liesegangsche Entzerrungsgerät „der praktischste Apparat dieser Art zu sein scheint“; er weist dabei aber nicht darauf hin, daß dieses Gerät die von ihm gestellte Aufgabe — mit Umformung auf einen bestimmten Maßstab — nicht zu lösen erlaubt[1]). Im Anschluß an eine schematische, einem Prospekt der Firma Liesegang entnommene Figur wird allerdings darauf hingewiesen, daß diese „die Drehung des Objektivs vermissen läßt, was unrichtig ist.“

Die Abhandlung bedeutet einen lesenswerten Beitrag für die Lösung der angegebenen Aufgabe. *P. Werkmeister.*

Neues auf dem Gebiete der Photogrammetrie, namentlich der Luftphotogrammetrie.

Von Prof. Dr. Samel, Bonn. S. A. aus „Geodätische Woche Köln 1925“. Stuttgart 1926, Konrad Wittwer.

Der Verfasser bietet im Umfange eines Vortrages — gehalten auf der „Geodätischen Woche in Köln“ — einen guten und klaren Überblick über die Entwicklung der photogrammetrischen Aufnahme- und Auswerteinstrumente. Der Text wird durch 24 gute Figuren unterstützt.

P. Werkmeister.

Ein Apparat zur Messung der atmosphärischen Turbulenz.

Von M. Holtzmann und L. Keller. *Physikal. Zeitschr.* **28.** *S. 304—308. 1927.*

Unter den derzeit brennendsten Fragen der atmosphärischen Physik steht das Turbulenzproblem mit an erster Stelle. Dem Problem instrumentell befriedigend beizukommen, stehen erhebliche Schwierigkeiten entgegen. Im besten Falle sind der unmittelbaren Messung nur die teils regelmäßigen, teils vollkommen unregelmäßig ablaufenden Schwankungen um die mittlere Windgeschwindigkeit als charakteristische Turbulenzmerkmale zugänglich. Andererseits ist bis heute noch keine Meßanordnung bekannt, die hier in Frage kommt, die Trägheitswiderstände vermeidet und somit ohne nachzuhinken augenblicklich anspricht. Darauf aber kommt es an, will man Beschleunigungen einwandfrei messen. Und das ist ja die Aufgabe, wenn die durch Turbulenz bedingten Windstärkeschwankungen einigermaßen typisch erfaßt werden sollen.

Bei dieser Sachlage mußten sich auch die Verfasser mit einer Kompromißlösung zufriedengeben, die aber doch Beachtung verdient, auch wenn sie nur „die Ermittlung des auf eine gewisse Zeitstrecke bezüglichen Mittelwertes des Quadrates der Abweichung der Windgeschwindigkeit von der mittleren Geschwindigkeit“ gestattet. Der Apparat, den sie konstruierten und beschrieben, sei zunächst an der Hand der wiedergegebenen Abbildung erläutert.

Um eine senkrechte Achse rotieren die Schalenkreuze A, mit einem durch das Schwungrad D groß gehaltenen Trägheitsmoment, und B mit einem im Verhältnis sehr kleinen Trägheitsmoment. Die A mit dem Schwungrad D verbindende Trommel C trägt innen die Magnete N und S, die ein zur Achse senkrechtes Magnetfeld definieren. Mit B ist der parallel zur Drehachse gewickelte Anker R, dessen Kern T an der Trommel C befestigt ist, verbunden. Die Wickelungsenden stehen über in Quecksilber gleitende Kontakte mit den Klemmen E und F in Verbindung. Diese werden durch eine Leitung geschlossen, in der ein von Toluol umgebener Widerstand liegt. Die Flüssigkeit selbst befindet sich in einem thermisch vollkommen isolierten Kalorimeter.

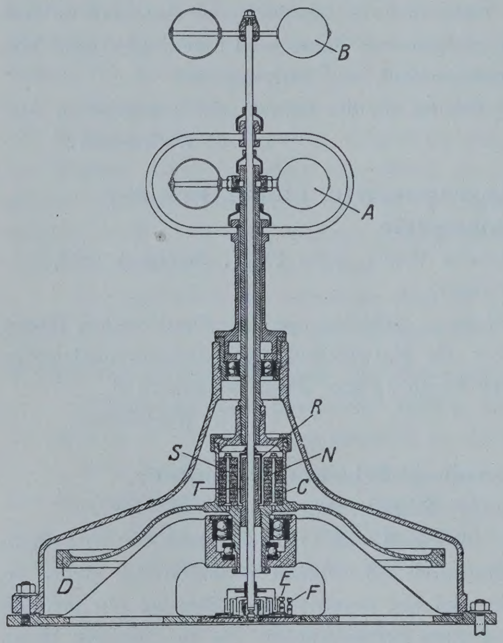
---

[1]) Vgl. O. v. Gruber, Die perspektivischen und optischen Verhältnisse bei der Entzerrung von Fliegerbildern. *Diese Zeitschrift* **42.** *S. 161. 1922.*

Die Verfasser berechneten ein Gerät für einen Bereich der mittleren Windgeschwindigkeit von 5—15 m/sec und für innerhalb gewisser Grenzen eingeschlossene Schwankungsperioden und legten folgende Annahmen zugrunde:

daß die Rotationsgeschwindigkeit beider Anemometer bei konstanter, innerhalb des Bereichs bleibender Windgeschwindigkeit praktisch gleich bleibt und proportional der letzteren ist. Infolge unvermeidlicher Lagerreibungen wird diese Voraussetzung erst oberhalb eines unteren Schwellenwertes der mittleren Strömungsgeschwindigkeit erfüllt. Gleichlauf wurde bei dem Versuchsmodell bis auf 3 Proz. oberhalb 4 m/sec Windgeschwindigkeit erreicht;

daß das Anemometer *A* — mit dem großen Trägheitsmoment — konstante Geschwindigkeit beibehält, entsprechend der mittleren Strömungsgeschwindigkeit, auch bei Schwankungen des Momentenwindes, vorausgesetzt, daß diese den angenommenen Beschränkungen entsprechen. Das ist um so mehr der Fall, je kleiner die mittlere Windgeschwindigkeit ist, und je größer das Trägheitsmoment gewählt wird. D. h. praktisch wird die Bedingung nur unterhalb eines oberen Schwellenwertes der mittleren Windgeschwindigkeit befriedigend erfüllt;



daß das Anemometer *B* mit genügender Genauigkeit den Schwankungen des Momentanwindes folgt. Diese Voraussetzung ist um so besser erfüllt, je kleiner das Trägheitsmoment von *B* und je größer die Strömungsgeschwindigkeit ist.

Wenn also innerhalb der angenommenen Grenzen ein gleichmäßiger Luftstrom das System antreibt, laufen beide Anemometer praktisch synchron und proportional der Strömungsgeschwindigkeit. Bei Schwankungen der Windgeschwindigkeit, sofern sie den Beschränkungen noch entsprechen, schwankt entsprechend die Drehgeschwindigkeit von *B* gegenüber der von *A* und ist der Schwankungsamplitude der Windgeschwindigkeit praktisch proportional. Im ersteren Falle kann kein Strom entstehen. Im letzteren entsteht ein Strom, der nach der Ableitung der Verfasser der zu messenden Größe proportional ist. Die vom Widerstand an die Kalorimeterflüssigkeit abgegebene Wärme wird aus zwei Temperaturablesungen am Anfang und Ende des Zeitintervalles bestimmt, für das die oben definierte, für die Turbulenz charakteristische Größe bestimmt werden soll. Nach dem oben Gesagten bleiben die Angaben des Gerätes hinsichtlich ihrer Genauigkeit von der mittleren Windgeschwindigkeit und ebenso von der Periode der Windstärkeschwankungen abhängig. Jedoch erhalten die Verfasser mit dem für das russische Geophysikalische Zentralobservatorium konstruierten Gerät gut meßbare Wirkungen. Hinsichtlich weiterer Einzelheiten, besonders soweit sie Theorie und Rechnung betreffen, muß auf die Originalarbeit verwiesen werden. Hier sei nur noch angefügt, daß es sicherlich noch andere, wenn auch nicht einfachere Möglichkeiten gibt, die Wirkungen zwischen Magnetfeld und Anker zur Anzeige zu bringen und daß vor allem, was sehr nahe liegt, eine Anordnung von Rotationskörpern mit verschiedenen Trägheitsmomenten zur Messung von Beschleunigungen zweifellos vielseitiger Anwendung fähig ist. *W. Keil.*

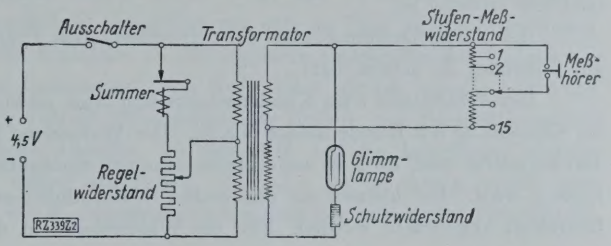
Ein neuer Schallmesser für die Praxis.

Von H. Barkhausen. *Zeitschr. d. Ver. D. Ing.* **71.** *S. 1471—1474. 1927.*

Der neue Apparat stellt sich die Aufgabe, die Lautstärke beliebiger Töne und Geräusche zu messen. Praktisch ist allein von Wichtigkeit die physiologische, von unserem Ohr empfundene Lautstärke. Verfasser verwendet bei seinem Schallmesser ein der subjektiven Photometrie analoges Verfahren. Frühere Untersuchungen Barkhausens (zusammen mit Lewicki) ergaben, daß man durch allmähliche Einengung des zu messenden Schalles zwischen ein und demselben, einmal stärkerem

und einmal schwächeren Vergleichston, die Lautstärkengleichheit in praktisch genügender Schärfe festlegen kann. Diese Feststellung ist sogar dann möglich, wenn man den Vergleichston auf das eine, den zu messenden Ton gleichzeitig auf das andere Ohr wirken läßt, am besten unter Vertauschung der Tonzuführung und Mittelbildung, um den Einfluß etwa vorhandener Rezeptionsverschiedenheiten der beiden Ohren auszuschließen.

Der Schallmesser, ausgeführt von Siemens & Halske A.-G., hat folgende einfache Anordnung. Durch einen Summer wird der Vergleichston von der als geeignet erwiesenen Frequenz von 800 *Hertz* erzeugt und durch einen Meßkopfhörer dem einen Ohr zugeführt. Zur Überwachung der zum Betrieb verwendeten Taschenbatterie, sowie des Summers selbst, dient eine kleine Glimmlampe mit konstanter Zündspannung, die vom Summer-Wechselstrom über einen Transformator gespeist wird, so, daß ein besonderer Regelwiderstand die Lampe unter normalen Verhältnissen gerade aufleuchten läßt. Ein in 15 geeichte Stufen unterteilter Meßwiderstand erlaubt die gleiche Zahl Lautstärkestufen zu erzeugen. Die beistehende Abbildung zeigt die Schaltung des Apparates.



Gewisse Schwierigkeiten ergaben sich für die notwendige Eichung des Apparates aus dem Fehlen eines Maßsystems für die physiologische Lautstärke bzw. einer Lautstärke-Einheit, z. B. der Lautstärke einer unter bestimmten Normalbedingungen angeblasenen Orgelpfeife, gemessen in 1 m Abstand. Barkhausen ersetzt diese einstweilen noch fehlende „akustische Hefnerkerze“ durch eine aus der physikalischen Lautstärke abgeleitete physiologische Skala, indem er, von den von Max Wien ausgeführten grundlegenden Schwellwertbestimmungen ausgehend, den Schwellwert selbst als Einheit der Lautstärke („*Wien*“) definiert. Da die physikalische Lautstärke in einer geometrischen Reihe anwachsen muß, um physiologisch gleichmäßig zunehmend zu erscheinen, leitet Barkhausen aus der „*Wien*-Skala“ eine praktisch geeignete physiologische Skala in „*Phon*“ ab, unter Zugrundelegung der Beziehung 2 *Wien* = 1 *Phon*; es entsprechen somit 2, 4, 8, 16, 32, ... *Wien* 1, 2, 3, 4, 5 ... *Phon*. Der Schwellwert selbst ist somit 0 *Phon*.

Der Verfasser hat festgestellt, daß unser gegenüber dem Auge weniger empfindliches Ohr noch Lautstärkenunterschiede von etwa 0,2 *Phon* hören kann. Man wird also bei der Benutzung des Schallmessers durch Häufung der Beobachtungen eine Zuverlässigkeit von + 0,1 *Phon* erreichen können.

Eine größere Anzahl Messungsergebnisse an Schallquellen verschiedener Art sind in der Abhandlung wiedergegeben und erweisen die praktische Brauchbarkeit des Apparates. *G.*

Eine handliche Meßbrücke zur Bestimmung von Induktivitäten und Kapazitäten.

Von G. Zickner. *Arch. f. Elektrot. XIX, S. 49. 1927.*

Die experimentelle Bestimmung von Kapazitäten und Induktivitäten ist eine Aufgabe, die im Laboratorium und in der Praxis außerordentlich häufig vorkommt. Und zwar handelt es sich meistens um Messungen von geringerer Genauigkeit, wobei aber schnelle Ausführbarkeit wesentliche Bedingung ist. Für derartige Kapazitätsmessungen gibt es bereits eine Reihe kleiner, handlicher Brückenkonstruktionen, die von verschiedenen Firmen auf den Markt gebracht werden. Für analoge Messungen einer Selbst- oder Gegeninduktion fehlte bisher ein derartiger Apparat.

Die in der vorliegenden Arbeit beschriebene Meßanordnung gestattet es, in kürzester Zeit eine Selbstinduktion zwischen 10^4 cm und 10^8 cm zu messen. Die Messung macht nicht wesentlich mehr Schwierigkeit als eine Messung mit einer der gebräuchlichen Kapazitätsmeßbrücken und erreicht die gleiche relative Genauigkeit von etwa 1 bis 2 %. Ferner gestattet derselbe Apparat auch die Messung von Kapazitäten von ungefähr 50 cm an bis zu 1 Mikrofarad. Durch Betätigung eines Umschalters läßt sich nämlich die Selbstinduktionsmeßbrücke in eine Kapazitätsmeßbrücke verwandeln.

Der Apparat ist eine Anwendung der bekannten Maxwellschen Brückenschaltung. Zwei einander gegenüber liegende Zweige enthalten nur Widerstände, während im dritten ein Drehkondensator mit parallel geschaltetem, im vierten die Spule mit in Reihe geschaltetem Widerstande liegt.

Der Drehkondensator umfaßt einen Kapazitätsbereich von etwa 50 bis 1200 $\mu\mu$F. Der Apparat besitzt 4 Meßbereiche, von denen jeder einer der 4 Dekaden zwischen 10^{-5} und 10^{-1} H entspricht.

Als Wechselstrombrücke erfordert die Brücke die Erfüllung zweier Bedingungen. Die eine wird durch Einstellung des Drehkondensators, die andere durch Abgleichung des ihm parallel geschalteten Widerstandes erfüllt. Da man aber kontinuierlich veränderliche Hochohmwiderstände nicht besitzt, so ist ein stufenweise veränderlicher Widerstand verwandt, mit welchem grob eingestellt wird. Die Feineinstellung geschieht alsdann mit dem kleinen Widerstand im Selbstinduktionszweige, welcher seinerseits noch mit einer besonderen Feinregulierung versehen ist. Man hat daher abwechselnd den Kondensatorgriff und den Widerstandsgriff zu betätigen, bis ein völliges Schweigen im Brückentelephon erreicht ist.

Bei der Berechnung und der experimentellen Prüfung des Apparates zeigte sich, daß man auf folgendes zu achten hat:

Der Widerstand r im Kondensatorzweige muß praktisch völlig kapazitätsfrei sein, da er sonst die Einstellung des Kondensators fälscht. Der Widerstand im Induktionszweige muß möglichst selbstinduktionsfrei sein, da sich andernfalls seine Selbstinduktion l zu der der Spule addiert und mitgemessen wird. Bei kleinen zu messenden Selbstinduktionen muß infolgedessen gegebenenfalls eine Korrektur angebracht werden. Für die Widerstände in den übrigen Zweigen 1 und 4 ergibt sich, daß ihre Zeitkonstanten Θ_1 und Θ_4 in die Brückenbedingungen eingehen. Die Brückenhauptgleichung lautet: $L + l = r_1\, r_4 \left(C + \frac{\Theta_1 + \Theta_4}{r}\right)$. Man hat also durch besondere Wickelungsverfahren die Zeitkonstanten dieser Widerstände so klein zu halten, daß die Korrektion $\frac{\Theta_1 + \Theta_4}{r}$ gegen C nicht in Frage kommt, was man auch dadurch begünstigen kann, daß man r nach Möglichkeit groß wählt. Dadurch erreicht man gleichzeitig eine kleine Korrektion l.

Der Apparat wird durch einen Summer erregt, welcher, da die Brücke einen hohen Widerstand darstellt, auf einen Transformator arbeitet. Die Anordnung ist so zu wählen, daß ein eventuell vorhandenes Streufeld des Transformators die Leiterschleifen der Brücke möglichst wenig beeinflussen kann.

Da die Eichkurve des Kondensators praktisch geradlinig verläuft, so sind auch die Eichkurven der Brücke gerade Linien.

Durch Betätigung eines Umschalters können zwei Zweige der Brücke miteinander vertauscht und dadurch der Apparat in eine normale Kapazitätsmeßbrücke nach Art der bekannten Seibtschen Brücke verwandelt werden. Der zu messende Kondensator wird in diesem Falle an die sonst für die Prüfspule vorgesehenen Klemmen angeschlossen.

Die Herstellung des Apparates ist von der Firma Dr. Georg Seibt, Berlin-Schöneberg übernommen worden. *G. Zickner.*

Bücherbesprechungen.

E. Freundlich, Das Turmteleskop der Einsteinstiftung. 8⁰. III, 43 S. mit 26 Abb. Berlin 1927, Julius Springer. RM. 3.60.

Durch die allgemeine Relativitätstheorie und die Bohrsche Atomtheorie sind der Astrophysik in der letzten Zeit neue fruchtbare Arbeitsgebiete erschlossen worden, die vollkommenere instrumentelle Einrichtungen als die herkömmlichen forderten. Um der deutschen Forschung die Mitarbeit auf diesen Gebieten zu ermöglichen, wurde die Einsteinstiftung ins Leben gerufen, die mit Unterstützung staatlicher Stellen in dem Einsteinturm eine wissenschaftliche Anlage schuf, deren zweckvolle Ausstattung der Forschungsarbeit sehr förderlich sein wird.

Die vorliegende Schrift will einem weiteren Kreise, als ihn die engere Fachwelt darstellt, einen Überblick über die Geschichte, die Einrichtung und die Aufgaben des Einsteinturmes geben. Aus den zahlreichen Abbildungen und einigen Baurissen, die wiedergegeben werden, wird ein Bild von der interessanten Anlage entworfen, dessen Einzelheiten durch die Ausführungen des Verfassers sehr wirksam erläutert werden. Die einzigartige Verbindung von feststehendem Teleskop mit physikalischem Laboratorium im Kellergeschoß des Turmes bietet den großen Vorteil, den die Möglich-

keit darstellt, die von einem großen langbrennweitigen Objektiv — Coelostat — (siehe *diese Zeitschr.* ***46.*** *S. 49. 1926*) aufgefangenen Lichtstahlen in einem mit allem erforderlichen neuzeitlichen Rüstzeug ausgestatteten physikalischen Laboratorium unmittelbar untersuchen zu können.

Die wesentlichen Instrumente und Apparate dieses Laboratoriums, wie Gitter- und Prismenspektrograph, Spektralofen, Mikrophotometer sind größtenteils Neukonstruktionen. Ihre dem besonderen Zweck Rechnung tragende Eigenart wird in den Hauptzügen beschrieben.

Nach Ansicht des Ref. ist es der kleinen Schrift mit ihren ausgezeichneten Abbildungen voll und ganz gelungen, die Absicht ihres Verfassers zu verwirklichen. *W. Keil.*

D. Baxandall, *A telescope made by Christopher Cock in 1673. Proc. Opt. Conv. 1926.* ***2.*** *S. 529.*

Der ganz ausgezeichnete Aufsatz beschränkt sich nicht auf den im Titel aufgeführten Gegenstand, sondern gibt uns ungemein wertvolle Einblicke in die englische Geschichte der technischen Optik. Diese reicht für zusammengesetzte Instrumente von Ruf weiter zurück als die heimische, die im wesentlichen auf Brillen und Handröhrchen (Erzeugnisse der Brillen- und Perspektivmacher) beschränkt blieb, wohl, weil wissenschaftliche Anstöße, wie der 1645 auf die Augsburger Optiker von [A. M.] von Schyrle[1]) ausgesandte, später ausblieben. J. Zahn ist in seinen beiden Ausgaben von 1685/6 und 1702 doch gar zu wenig selbständig; auch mag der lateinische Text für Gewerbsleute zu schwierig gewesen sein.

In dieser Hinsicht waren die englischen Optiker viel begünstigter; abgesehen von den Anforderungen, die damals schon (s. *Die Naturw.* ***8.*** *S. 534 l. 1920* für Venedig) die Schiffahrt an die Optiker der Hafenstadt stellte, traten auch schon sehr bald nach der Gründung der Londoner Königlichen Gesellschaft im Jahre 1664 wissenschaftliche Anforderungen an die beiden hauptsächlichsten Londoner Optiker Christopher Cock und Richard Reeves heran. Berührungen mit Männern wie I. Newton, J. Gregory, J. Flamsteed u. a. mußten die Anforderungen an die Leistungen erhöhen.

Das hier in erster Linie beschriebene Fernrohr wurde noch im Sommer 1925 durch Herrn F. C. Harper in Genua erstanden, hat 5 ineinander gleitende Papprohre — das umfangreichstel trägt in auffälliger Weise die Okularlinsen — und zeigt auf dem zweiten Schieberohr die Bezeichnung „Christopher Cock, Londini, 1673“ (oder 75). Auf die mit Guajakholz[2]) bewehrten Papprohre ist weißes Velinpapier geklebt, und sie lassen sich zum Gebrauch auf die merkliche Länge von 138,5 cm ausziehen, während die Ausdehnung des zusammengeschobenen Rohres 53 cm beträgt bei 0,63 kg Gewicht. Die Linsen sind alle gleichseitig, das Objektiv hat 2,2 cm, die Okularlinsen 3,4 cm freie Öffnuung, und in einer besonderen Zeichnung (Abb. 3) hat Herr Baxandall die Lage und Stärke aller vier Linsen, also damit auch die damals gebrauchte Form des Schyrleschen Okulars in dankenswerter Weise angegeben. Man kann hier wohl darauf hinweisen, daß nach der Auskunft von H. Sirturus vom Jahre 1618 (*D. Opt. Woch.* ***9.*** *S. 399. 1923*) die Herstellung von Fernrohren mit pappenen Schieberohren in Venedig bis auf die ganz frühe Zeit des holländischen Fernrohrs zurückreicht. Zwar kennen wir Einzelheiten des Aussehens dieser ältesten Rohre nicht, doch hat sich die Art der Herstellung von Schieberohren noch lange in den oberitalienischen Städten er-

---

[1]) Ich halte diese Namensbezeichnung für richtiger als die von Herrn Baxandall (S. 531 δ) gegebene A. M. von Schyrlle de Rheita. Der letzte Bestandteil ist der Name des böhmischen Ritterguts, wo der gelehrte Klostergeistliche geboren war. A. M. = Antonius Maria ist sein Klostername, was ich durch [ ] angedeutet habe. Daß er selber seinen eigenen Vatersnamen in jener Art schrieb, erkennt man aus der Inschrift zu der Tafel mit dem Planetarium seines umfangreichen Buches von 1645: *Praenobli strenuoque* Alberto de Schyrle *Sac^{ae} Caes^{ae} M^{tis} &c nec non Ser^{mi} Electoris Bavariae Vicecoronello et pro tempore rei bellicae Praefecto in Vberlinga Fratri Suo Germano go Char^{mo}* F. Anton. Maria de Rheita *amoris DD 1645.*

[2]) Die *Encyclopaedia Britannica* hat dafür die folgende Erklärung: *Guaiacum or lignum vitae tree (ger.* Guajakbaum, Franzosenbaum, Pockenholzbaum, *fr.* gayac, gaïac). Er komme im nördlichen Südamerika vor. Den Ausdruck Franzosenholz habe ich in älteren deutschen Mitteilungen über holzgefaßte optische Instrumente nicht selten gelesen.

halten und scheint dort namentlich im Anfang des 18. Jahrhunderts geblüht zu haben. Hoffentlich kann ich darauf gelegentlich einmal näher eingehen.

Chr. Cocks weitere Tätigkeit wird gestreift, ein Mikroskop und namentlich Teleskope seiner Herstellung finden sich nachgewiesen. Ein noch erhaltenes größeres Stück muß seiner ganzen Anlage wegen auf den gleichen Meister zurückgeführt werden, obwohl es keinen Herstellernamen zeigt. Dieses hat 8 Auszüge bei sonst ähnlicher äußerer Ausstattung, läßt sich auf 226 cm zum Gebrauch ausziehen und ist zusammengeschoben 62 cm lang. Es hat ein wahres Gesichtsfeld von 66′ bei etwa 22facher Vergrößerung.

Die englische Optikerschaft hob sich von der Zeit dieser Instrumente an dauernd, und man braucht nur an die Spiegelfernrohre in der ersten Hälfte und die die ganze Lage der Fernrohroptik umwälzenden achromatischen Fernrohre (sie sind mit den Namen Chester Moor Halls und des Dollondschen Hauses — s. a. *diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 378—83. 1925* — verbunden) in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts zu denken, um zu verstehen, daß sich dort wohl hervorragend geschulte Vertreter entwickeln konnten wie damals an keiner andern Stelle. Herr Baxandall führt die Kunstüberlieferung (vermittelt durch wohlgeratene, in dieser Optikerreihe geschulte Lehrlinge) von dem Hause Cocks über E. Scarlett, N. Adams zu einer Familie Watkins fort, deren verschiedene Glieder sicherlich über 100 Jahre — von 1747 bis nach 1851 — immer an derselben Stelle, nämlich 3, Charing Cross, ihr Geschäft geführt haben. Jetzt gehört diese erinnerungsreiche Stätte den Gebrüdern Elliot; leider können hier nicht alle Einzelheiten dazu mitgeteilt werden, da es an Raum dafür mangelt. Ich erwähne nur zwei Punkte, die mir besonders aufgefallen sind. John Cock, wohl der Sohn des oben erwähnten Künstlers, führt sich 1687 als *perspective glass grinder* ein; es scheint sich also hier um die Anfertigung der als *perspective glasses* bekannten schwachen Sammellinsen mit großem Abstande zu handeln. Von Edward Scarlett (dieses Haus wird auch 1738 in der großen Optik R. Smithens erwähnt) teilt Herr Baxandall eine ganz ungewöhnlich inhaltreiche, dreisprachige Geschäftsanzeige um 1728 in englischem, französischem und holländischem Text mit. Unter den darauf abgebildeten Handlungsgegenständen glaube ich neben einem Reißzeug, einem Hörrohr und einem Barometer [?] zu erkennen ein Ochsenauge [*bull's eye*] ferner eine Zauberlaterne sowie Brillen und einfache Gläser mit und ohne Gehäuse, zwei Erdfernrohre in pappenen Schieberohren (nunmehr gibt anscheinend das Rohr mit dem Objektiv die Hülle für alle Schiebeglieder ab) fünf verschiedene Prismen meist auf kleinen Ständern, zwei holländische Einzelröhrchen mit und ohne Ablenkungsspiegel (solche Rohre nannte der ungefähr gleichzeitige B. Martin *diagonal perspectives*), eine tragbare dunkle Kammer zum Nachzeichnen [?] und ein Perspektivglas (*perspective glass*); einige (3) Geräte habe ich dabei garnicht bestimmen können. Der Wert dieser Geschäftsanzeige für den Geschichtsforscher der Optik ist ganz ungemein groß.

Auch hierbei nennt sich der Besitzer im englischen Text *optician*, und Herr Baxandall kann nachweisen, daß dieser Fachausdruck zwischen 1714 und 1720 aufgekommen sein mag und ziemlich allgemein, allerdings nicht ausschließlich, bis zur Mitte des 18. Jahrhunderts gebraucht wurde. Damit wird eine von mir stammende Vermutung als irrig erwiesen, daß um die gleiche Zeit der Ausdruck *optician* in England nicht vorgekommen sei. *Moritz von Rohr.*

G. Yvon, *Contrôle des surfaces optiques.* Revue d'optique, 1925. Der Verfasser ist Dipl.-Ing. und Teilhaber des Hauses Jobin Yvon und hat über das Thema am Institut d'Optique Unterricht erteilt. Die Abhandlung ist als Sonderdruck durch die Revue d'optique zu beziehen.

Die Arbeit bietet eine sehr geschickte und anschauliche Übersicht über die bis jetzt bekannt gewordenen Verfahren zur Prüfung optischer Flächen. Die Ordnung der Verfahren erfolgt nach neuen Gesichtspunkten. Es wird eine Profilkette gebildet, deren Glieder aus dem „Normalprofil", dem „Punktprofil", dem „Tangentenprofil" und dem „Krümmungsprofil" bestehen. Das erste enthält die Normalabweichungen der Wellenfläche von einer sphärischen Bezugsfläche, gemessen auf deren Radien oder Normalen; das zweite nimmt Bezug auf den Interferenzversuch von Young und mißt die seitlichen Abweichungen der Zentralfranse vom Bezugspunkt (Gaußschen Bildpunkt); das dritte stellt die seitlichen Abweichungen der Normalen fest (sphärische Aberration); das vierte endlich stellt die Kaustik dar, den Ort der Krümmungsmittelpunkte. Die vier Profile können leicht in

analytische Beziehungen zueinander gebracht werden, denn sie sind ja weiter nichts wie verschiedene Ausdrücke für ein und dieselbe physische Realität. Der Verfasser entwirft nach dieser analytischen Ordnung des ganzen Stoffs eine Art topographischen Übersichtsplan, aus dem ersichtlich wird, welches Profil der Wellenfläche durch die einzelnen Verfahren erreicht wird. Anschließend werden die wichtigsten Literaturangaben zusammengestellt, wobei natürlich in erster Linie die französischen Arbeiten berücksichtigt worden sind. Besondere Berücksichtigung fanden die Arbeiten von Twyman, Michelson, Hartmann, Cotton, Foucault, Vasco Ronchi, Lenouvel, Ritchey, Yvon. Auf die neueren Arbeiten von Väisälä und die deutschen Arbeiten von Waetzmann und Bratke wird nur in Anmerkungen hingewiesen.

Zum Schluß schlägt der Verfasser vor, an Stelle der von Hartmann eingeführten Bewertungszahl oder Zensur T die Bewertungszahl K einzuführen, die mit T in einer einfachen Beziehung steht.

$$K = T \cdot \frac{D}{20\,\lambda}.$$

Hierin bedeutet D den Objektivdurchmesser in cm und λ die Wellenlänge in $^1/_{1000}$ mm (μ) für eine mittlere Farbe.

$k < 0{,}75$ kennzeichnet dann ein technisch im höchsten Grade vollkommenes Objektiv. Ein Meisterwerk mit Auszeichnung.

$k = 1$ kennzeichnet ein Objektiv erster Klasse.

$k = 2$ kennzeichnet ein Objektiv zweiter Klasse.

Die Bewertungsziffern für vier bekannte astronomische Objektive werden angegeben:

Brashear, Ottawa:	$\Phi/f = {}^{380}/_{5700} = {}^1/_{15}$	$T = 0{,}14$	$K = 0{,}5$,
Henry, Paris:	$\Phi/f = {}^{330}/_{3430} = {}^1/_{10}$	$T = 0{,}27$	$K = 0{,}65$,
Clark, Yerkes:	$\Phi/f = {}^{1000}/_{19\,350} = {}^1/_{19}$	$T = 0{,}11$	$K = 1{,}0$,
Merz, Straßburg:	$\Phi/f = {}^{486}/_{6930} = {}^1/_{14}$	$T = 0{,}20$	$K = 0{,}9$.

Die Abhandlung berücksichtigt in erster Linie die für die Praxis wichtigen Verfahren zur Prüfung von großen Objektiven und Spiegeln für astronomische Zwecke. Die Prüfung von kleineren Objektiven wird nur hier und da gestreift. Einer sehr eingehenden Behandlung sind namentlich die nach Foucault eingeführten Messerschneidenverfahren unterzogen, auch die Methode des Verfassers ist daraus hergeleitet. Hier muß zugegeben werden, daß der Foucaultschen Methode in der Praxis die größte Bedeutung zukommt, denn bisher dürften die schwierigen Interferenzprüfungen kaum für die Praxis eine nennenswerte Bedeutung erlangt haben. Daß die rein qualitative Prüfung mit der Messerschneide im Laufe der Zeit in den einzelnen Fabriken Veränderungen erfahren hat, die es schließlich erlaubten, die Methode auch für quantitative Prüfungen nutzbar zu machen, ist einleuchtend; es scheint aber Yvon der erste zu sein, der darüber der Öffentlichkeit Bericht erstattet hat.

Vom pädagogischen und vom praktischen Standpunkt aus ist die Zusammenstellung Yvons aufs dankbarste zu begrüßen, hoffentlich wird auch der deutschen Optik bald eine ähnliche gute Übersicht über die Prüfverfahren der optischen Flächen beschert, eine reichere Illustration und eine etwas objektivere Behandlung wäre natürlich sehr erwünscht. *Sonnefeld.*

O. D. Chwolson, Lehrbuch der Physik. Band IV, 2. Abtlg. „Das konstante Magnetfeld", herausgegeben von G. Schmidt-Münster i. W. 8°. 565 S. mit 181 Abb., Verlag Fr. Vieweg und Sohn A. G., Braunschweig 1927. Geb. 20,50 RM.

Vor kurzem erschien nun auch die Neubearbeitung des zweiten Teiles vom vierten Bande des Chwolsonschen Lehrbuchs der Physik, der das konstante Magnetfeld behandelt.

Der Herausgeber hat sich dabei an die Pflaumsche Übersetzung der ersten Auflage eng angeschlossen; er hat aber an einzelnen Stellen, an denen die Klarheit der Darstellung zu wünschen übrig ließ, bessernd eingegriffen und die wichtigsten, in der Zwischenzeit bekannt gewordenen Neuerungen zugefügt.

So sind vor allem im Kapitel VIII die Molekulartheorien des Magnetismus, die Magnetonentheorien und der Nachweis der gyroskopischen Erscheinungen neu aufgenommen. Der erste dieser Paragraphen bringt eine recht eingehende Darstellung der Theorien des Dia- und Paramagnetismus von J. J. Thomson, Voigt und Langevin. Im zweiten sind die Erweiterung der Theorie auf ferromagnetische Körper, ferner die Magnetonentheorien und der Einfluß der Quantentheorie hierauf,

sowie der Nachweis der Richtungsquantelung durch Gerlach und Stern dargestellt. Der letzte Paragraph schließlich enthält außer einer historischen Übersicht über die Versuche zum Nachweis der Ampereschen Molekularströme eine kurze Besprechung der grundlegenden Arbeiten von Barnett, Richardson, Einstein und de Haas, sowie auch die neueren Untersuchungen auf diesem Gebiet.

Auch in diesen neuen Teilen hat das Buch die Hauptvorzüge des ursprünglichen Werkes behalten, nämlich das Eingehen auf eine Fülle von Einzelheiten, ohne jedoch den Zusammenhang der Darstellung zu zerreißen, sowie die sehr reichhaltigen Literaturangaben, Vorzüge, die es nicht nur dem fortgeschrittenen Studenten, sondern auch dem Fachgelehrten und selbst dem Spezialisten wertvoll machen werden. *Steinhaus.*

Neue Preisliste von F. W. Breithaupt & Sohn, Kassel. Theodolite. 1926. 76 S. mit Abb.

Die Einleitung zu der Liste enthält besondere, für den Käufer wertvolle und beachtenswerte Angaben über die Leistungsfähigkeit der benutzten Fernrohre, die Teilung und Bezifferung der Kreise, die Kreisablesevorrichtungen, die Genauigkeit der Kreisteilungen, Achsen- und Feinbewegungen, die Libellen, die Bussolen, den „Gebrauchswert“ der Instrumente und die Aufstellung des Instruments.

Die Vertikalkreise werden — „wenn nicht anders verlangt“ — durchlaufend im Uhrzeigersinn derart beziffert, daß bei horizontaler Zielung am Nonius I die Ablesung 90° ist. Für Winkelmessungen in einer Fernrohrlage und Ablesung an nur einer Stelle ist es bequemer, wenn die Bezifferung durchlaufend gegen den Uhrzeigersinn geht und so beginnt, daß man für Kreis links bei horizontaler Zielung die Ablesung 0° macht.

Die Gewinde der Feinbewegungsschrauben und der Fußschrauben werden gegen Verschmutzung und Beschädigungen durch eine drehbare Hülse geschützt, die gleichzeitig zur Regulierung des Schraubenganges dient. Solche Schutzvorrichtungen sind ja ganz erwünscht; sie bringen aber — wie ich im vorliegenden Fall schon erfahren habe — den Nachteil, daß man den Stand der Schraube in bezug auf ihre mittlere Stellung nicht beurteilen kann.

Bei den Bemerkungen zu den Libellen wird gesagt, daß jeder Theodolit — mit Ausnahme derjenigen mit eingebauter Bussole — mit einer Dosenlibelle versehen wird. Als Vertikalkreislibellen werden solche verwendet, die fest mit den Ablesevorrichtungen verbunden sind. Als Nivellierlibelle wird zweckmäßigerweise eine Wendelibelle empfohlen.

Die Liste enthält einfache Theodolite, Repetitionstheodolite ohne und mit Vertikalkreis mit Nonienablesung, Kreistachymeter, selbstreduzierende Tachymeter, Bussolentheodolite — in reicher Auswahl —, Repetitionstheodolite mit Strich-, Skala-, Nonius- und Schraubenmikroskopablesung und endlich Universalinstrumente mit Nonius- und Mikroskopablesung. Die Vertikalkreise der kleineren uud mittleren Instrumente sind zum Teil mit einer — z. B. bei Ablesung mit nur einem Nonius ganz zweckmäßigen — Stirnteilung versehen. Bei den „selbstreduzierenden“ Tachymetern sind die beiden von Puller angegebenen Instrumente aufgeführt. Die Firma baut jetzt auch einen selbstrechnenden Tachymeter nach dem von E. Hammer angegebenen Grundgedanken; das Instrument ist aber nicht wie der bekannte Hammer-Fennel-Tachymeter ein nur für tachymetrische Punktbestimmungen verwendbares Sonderinstrument, sondern ein mit einem Hammerschen Entfernungsmesser versehener Repetitionstheodolit mit Vertikalkreis.

Von den aufgeführten Sonderinstrumenten sind zu erwähnen ein „Zentrierapparat für Theodolit- und Signalaufstellung bei Polygonzügen für Stadtvermessungen“, ein Zentrierstativ mit Kreuzschlittenführung und ein „Katastertheodolit“ mit gemeinsamem Gesichtsfeld für die Ablesungen am Horizontal- und Vertikalkreis beim Tachymetrieren [1]); das mit einer inneren Einstellinse ausgestattete Fernrohr dieses Theodolits hat 35 fache Vergrößerung und eignet sich deshalb besonders für feinere Streckenmessung mit dem Fadenentfernungsmesser.

Unter den Bussolentheodoliten ist ein — mit dem Kennwort „Gralux“ bezeichneter — Tachymetertheodolit aufgeführt, bei dem der Unterbau nach neuen Gesichtspunkten in offenbar zweckmäßiger Weise ausgebildet ist. *P. Werkmeister.*

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **45.** *S. 303. 1925.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **Februar 1928.** Zweites Heft.

Untersuchung eines Breithauptschen Kreises nach der Methode von Heuvelink und Bemerkungen zu dieser Untersuchungsmethode.

Von
Privatdozent Dr.-Ing. **L. Fritz** in Hannover und Dr. phil. **W. Uhink** in Kassel.

1. Das Interesse für Teilungsprüfungen ist stets sehr groß gewesen. Wir glauben daher, daß die Mitteilung unserer Untersuchung nicht wertlos sein wird. Wir wollen uns jedoch nicht nur auf einen Bericht über die Ergebnisse beschränken, sondern vielmehr von einem allgemeineren Standpunkt aus einige Bemerkungen beifügen, die uns für das tiefere Verständnis des Verfahrens notwendig erscheinen.

In vielen Fällen kann man überhaupt von der Untersuchung einer Kreisteilung absehen, besonders dann, wenn die Ablesegenauigkeit z. B. an Strichmikroskopen oder Nonien doch kaum ausreichen würde, Teilungsfehler nachzuweisen. Der erste Schritt in der Kenntnis der Teilungsgüte ist der, daß man durch eine einzige Zahl eine Aussage über die Teilungsfehler zu erhalten wünscht. Da Instrumente, bei denen Teilungsfehler überhaupt eine merkliche Rolle spielen könnten, stets zwei gegenüberstehende Ablesevorrichtungen haben, genügt es in der Praxis immer, das Mittel der Teilungsfehler gegenüberstehender Striche (Durchmesserfehler) zu kennen. Will man also durch eine einzige Zahl die Güte der Teilung ausdrücken, so wird diese Zahl der mittlere Wert sämtlicher Durchmesserfehler oder kurz der „mittlere Durchmesserfehler" τ sein. Daß diese eine Zahl natürlich die Teilungsgenauigkeit nicht erschöpfend charakterisieren kann, ist einleuchtend. Aber man ermittelt gern diesen Wert τ, weil er sich sehr einfach aus Exzentrizitätsbeobachtungen finden läßt. Das Verfahren ist mehrfach eingehend geschildert worden[1]). Besser wird eine Teilung beschrieben, wenn nicht nur die Zahl τ, sondern auch weitere Zahlen τ', τ'', τ''' usw. durch die Untersuchungsmethode bekannt werden. Sind nämlich in den Teilungsfehlern Perioden vorhanden, so bezeichnen die Werte τ', τ'', τ''' usw. die mittleren Durchmesserfehler nach Berücksichtigung dieser Perioden. Von einem bestimmten τ^{ν} ab wird man annehmen können, den „mittleren zufälligen Durchmesserfehler" bestimmt zu haben. Eine Methode, die dieses leistet, ist die von Prof. Heuvelink[2]) angegebene. Sie liefert außerdem einen mathematischen Ausdruck für den periodischen Verlauf der Durchmesserfehler, so daß man nötigenfalls imstande ist, den periodischen Teil der Teilungsfehler rechnerisch zu berücksichtigen. Nicht aber liefert die Methode in der bisher

[1]) Siehe z. B. Jordan-Reinhertz-Eggert, Handb. d. Verm.-Kunde. II. Bd. 8. Aufl. 1914. S. 281—287. Siehe ferner auch Helmert, Methode der kleinsten Quadrate. II. Aufl. 1907. S. 435 ff.

[2]) *Zeitschr. f. Verm.* ***42***. S. 441 ff. 1913; ferner *diese Zeitschr.* ***45***. S. 70 ff. 1925.

veröffentlichten Form die Werte der Durchmesserfehler selbst. Ganz abgesehen davon, ob es notwendig erscheint, die einzelnen Durchmesserfehler für bestimmte Durchmesser kennenzulernen, wird man doch eine Methode, die diese Kenntnis verschafft, als die umfassendere zu bezeichnen haben. Eine solche Methode ist das Untersuchungsverfahren nach Bruns[1]), das in seinen Grundzügen auf Schreiber[2]) zurückgeht. Dieses Verfahren hat aber den Nachteil, daß es nur in Ausnahmefällen auf geodätische Instrumente angewendet werden kann, wenn man verlangt, daß die Kreise in ihrer Gebrauchsstellung am Instrument untersucht werden sollen. Man muß vielmehr im allgemeinen die Kreise von ihren Instrumenten abnehmen und sie auf einem besonderen Teilungsprüfer untersuchen, oder man muß die Möglichkeit haben, zwei oder mehr Mikroskoppaare in beliebigen Winkelabständen anbringen zu können. Das letztere ist bei astronomischen Instrumenten, wie Meridiankreisen usw., zuweilen möglich, jedoch wohl niemals bei geodätischen Instrumenten. Deshalb erscheint es uns wünschenswert darauf hinzuweisen, daß die gerade für geodätische Instrumente vorzüglich geeignete Heuvelinksche Methode sich in Anlehnung an das Brunssche Rosettenverfahren dahin erweitern läßt, daß nötigenfalls auch die einzelnen Durchmesserfehler bestimmt werden können. Auf die Einzelheiten werden wir später zurückkommen. Zunächst wollen wir über die von uns gemeinsam ausgeführte Untersuchung berichten.

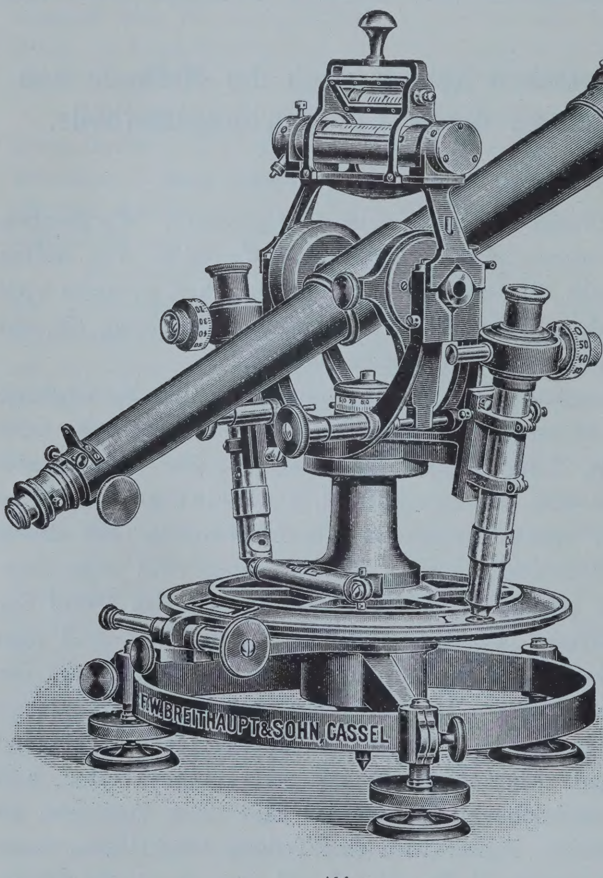


Abb. 1.

2. Auf einem aus Hohlziegeln gemauerten Pfeiler, der vom Fußboden isoliert ist, wurden sowohl das zu untersuchende Instrument wie die beiden als Kollimatoren dienenden Theodolite aufgestellt. Wir halten diese Art der Aufstellung auf der gemeinsamen Deckplatte eines einzigen Pfeilers für günstiger als die Aufstellung auf getrennten Pfeilern, wie es von Heuvelink beschrieben worden ist. Allerdings werden nur wenige Pfeiler die nötige Größe aufweisen, um eventuell drei große Instrumente aufzunehmen. Der auf dem Grundstück der Firma F. W. Breithaupt & Sohn in Kassel aufgestellte Pfeiler wurde denn auch eigens zu diesem Zweck aufgeführt. Nach seinem Bau waren 9 Monate

[1]) *Astron. Nachr.* ***130***. 1892; ferner *Sächs. Berichte Math.-physikal. Kl.* ***64***. 1912.
[2]) *Diese Zeitschr.* ***6***. S. 1 ff., 47 ff., 93 ff. 1886.

verstrichen, so daß man annehmen kann, daß der Mörtel genügend abgebunden hatte[1]). Die Verwendung von Hohlsteinen ist für einen schnellen und gleichmäßigen Temperaturausgleich sehr vorteilhaft. Der Pfeiler befindet sich in einer von Buschwerk umgebenen offenen Laube und ist dadurch vor direkter Sonnenbestrahlung gut geschützt.

Das zu untersuchende Instrument ist ein Triangulationstheodolit I. Ordnung (siehe Abb. 1) mit 235 mm Teilungsdurchmesser. Die Teilungseinheit ist $^1/_{12}{}^0 = 5'$, die Mikroskope geben einzelne Sekunden. Das Fernrohr von 50 mm Öffnung hat etwa 50 fache Vergrößerung. Der Kreis läßt sich von Hand verdrehen, und es hat sich gezeigt, daß er bis auf einzelne Sekunden genau eingestellt werden kann. Da wir befürchtet hatten, daß diese Einstellung Schwierigkeiten machen würde, hatten wir das Fernrohr mit einem Okularmikrometer versehen, um immer an den Mikroskopen zur Ausschaltung eventueller periodischer Fehler dieselben Schraubenstellungen benutzen zu können. Es war nun sehr wertvoll, daß diese Einrichtung sich als überflüssig erwies. Die Genauigkeit der Messungen wurde hierdurch sicher gesteigert, denn nun wurde das Zielfernrohr überhaupt nicht mehr berührt. Als Kollimatoren dienten zwei gleiche Theodolite mit Fernrohren von 30 mm Öffnung und 240 mm Brennweite. Als Zielmarken wurden auf Glas eingerissene Strichkreuze mit 15^0 Öffnungswinkel benutzt, die durch seitliche Beleuchtung infolge des abgebeugten Lichtes hell auf grauem Grund erschienen, auf welchem sich der schwarze Vertikalfaden sehr deutlich abhob. Auf diese Zielmarken ließ sich außerordentlich sicher und bequem einstellen. Es ist beabsichtigt, gelegentlich eine besondere Untersuchung darüber anzustellen, welche Winkelöffnung der Fäden am günstigsten ist. Man darf erwarten, daß bis zu einer gewissen Grenze die Zielgenauigkeit mit abnehmendem Keilwinkel zunehmen wird.

Das Beobachtungsprogramm war im wesentlichen dasselbe, wie es von Heuvelink[2]) aufgestellt worden ist. In zwei Punkten jedoch, die uns nicht unwichtig zu sein scheinen, wurde von den Heuvelinkschen Vorschriften abgewichen. Es wurden nämlich 1. bei jeder Kreisstellung nur die beiden Striche mit den Minutenangaben 0 Minuten und 5 Minuten eingestellt, während Heuvelink die Messungen so anordnet, daß alle zwölf möglichen 5-Minuten-Striche (0′, 5′, 10′, ..., 50′, 55′) gleich häufig vorkommen. Wir halten das Wechseln in den 5-Minuten-Strichen deshalb für untunlich, weil es sich häufig herausgestellt hat, daß Kreisteilungen, besonders automatisch hergestellte, mit kurzperiodischen Fehlern behaftet sind. Ein besonders anschauliches Beispiel hierfür gibt Förster[3]). Wenn man nun nach Heuvelink in den 5′-Strichen abwechselt, so werden die Ergebnisse nicht mit denen übereinstimmen, die man ohne Wechsel erhält. Gleichzeitig erschiene die Genauigkeit der Teilung in ungünstigerem Licht, weil durch Nichtberücksichtigung der kürzeren Perioden die mittleren Fehler $\tau \ldots \tau'''$ zu groß ausfielen. Zur Untersuchung der kurzperiodischen Fehler muß man, wie es Förster getan hat, besondere Messungen anstellen. Ferner haben wir 2. aus Symmetriegründen den zweiten Beobachtungssatz nicht als Wiederholung des ersten beobachtet, sondern dafür die um 180^0 verschiedene Lage gewählt. Auf diese Weise kommt jede eingestellte Kreisstelle gleich oft unter jedes Mikroskop, und der Fehler eines von der Kreisstellung abhängigen Run der Mikroskope fällt heraus.

---

[1]) Siehe hierzu jedoch *diese Zeitschr.* **24**. S. 137; **25**. S. 106; **26**. S. 119; **27**. S. 120; **28**. S. 110; **29**. S. 113; **30**. S. 112; **31**. S. 119; **32**. S. 128; **33**. S. 91; und ferner *Astron. Nachr.* **189**. S. 229 ff. 1911.

[2]) Siehe Fußnote [2]) S. 53.

[3]) *Diese Zeitschr.* **33**. *S. 44—51. 1913.*

Es wurde an zwei aufeinanderfolgenden Tagen, am 6. und 7. April 1927, gemessen, und zwar stellte am 6. April Dr. Fritz und am 7. April Dr. Uhink das Fernrohr auf die Ziele ein, während beide Male Mikroskop I durch Dr. Fritz und Mikroskop II durch Dr. Uhink abgelesen wurde. Das Protokoll führte Herr Regierungsbaumeister Dipl.-Ing. Otto. Die Drehung des Kreises besorgte immer Dr. Fritz. Die Dauer eine vollständigen Untersuchung betrug etwa $5^1/_2$ Stunden.

3. Die Ergebnisse mit vollständigem Zahlenmaterial anzuführen, würde zu weit führen. Wir wollen jedoch bemerken, daß die Beobachtungen des ersten Tages völlig mißlungen sind. Der Grund hierfür lag in dem sehr böigen Wind, der an diesem Tage in Kassel herrschte und der in der offenen Laube die Zielgenauigkeit des Fernrohres

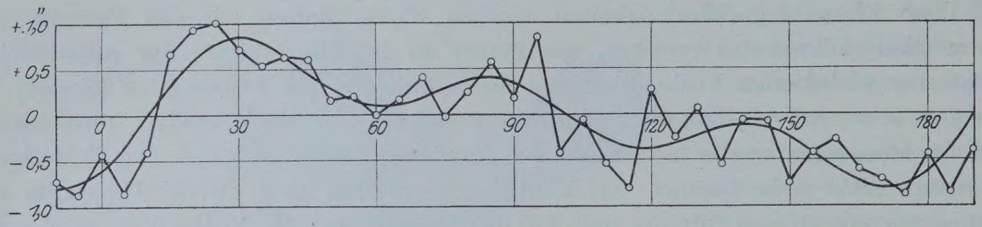


Abb. 2.

sehr ungünstig beeinflußte. Die Beobachtungen des zweiten Tages sind dagegen einwandfrei. Es ergibt sich daraus als Lehre, daß man, wie es schon lange geplant war, selbstverständlich das Häuschen um den Pfeiler herum völlig abschließen und mit elektrischer Beleuchtung versehen muß. Äußere Umstände hatten verhindert, daß schon an den Beobachtungstagen dieser Abschluß vorhanden war.

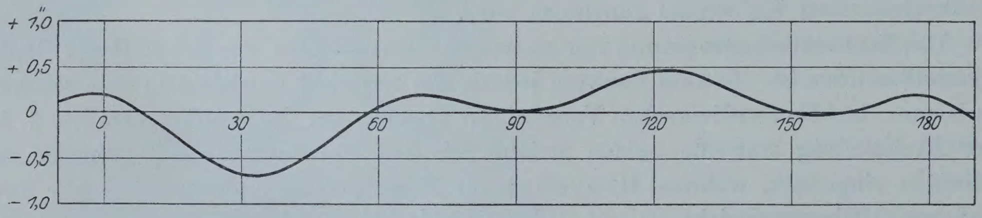


Abb. 3.

Die Ergebnisse der Beobachtungen am 7. April sind in den Abb. 2 und 3 dargestellt. In Abb. 2 bedeutet der gebrochene Linienzug den Verlauf der Abweichungen des gemessenen Winkels von seinem Mittelwert. Die durch die Rechnung ermittelte ausgleichende Kurve ist ebenfalls eingetragen. Abb. 3 zeigt dann den Verlauf der Durchmesserfehler, wie er als Ausgleichungsergebnis gefunden wird. Die Durchführung der Rechnung ist in der folgenden Zahlentafel 1 enthalten, wobei wir wegen der Einzelheiten auf die mehrfach angeführte Arbeit von Heuvelink[1]) verweisen. Zur Vermeidung von Abrundungsfehlern und zwecks Vereinfachung der Rechnung, die auf diese Weise bequem mittels Rechenschieber zu erledigen ist, wurde anstatt mit den Mitteln mit Summen in bekannter Weise[2]) gerechnet.

Zu den Zahlen der Tafel 1 sind noch einige Bemerkungen nötig wegen der Berechnung der mittleren Fehler der Phasenwinkel A, B und C. Diese sind oft in derartigen Untersuchungen auf Minuten angegeben. Das könnte zu einer falschen Anschauung über die Sicherheit in der Bestimmung dieser Winkel führen. Deshalb soll

---

[1]) a. a. O. [2]), S. 53.

[2]) Bruns, Grundlagen des wissenschaftlichen Rechnens. Leipzig 1903.

Zahlentafel 1.

Horizontalkreis des 23,5-cm-Theodolits Nr. 34430 von F. W. Breithaupt & Sohn.

7. April 1927. $\alpha = 45^0 + p$. $\beta = 45^0$.

Nr. des Satzes	Kreislage bei den links stehenden Nummern	Satzmittel (8 fach) 8 p_1	8 p_2	$8(p_1+p_2) = 16p$	$16(p-\alpha) = 16x$	Differenzen aus Hin- und Rückgang 4 v_1	4 v_2
		″	″	″	″	″	″
1 12	0° 0′	43,6	32,7	76,3	− 6,9	− 8,6	− 3,5
2 11	30	44,8	49,9	94,7	+ 11,5	− 5,0	− 1,5
3 10	60	44,2	39,1	83,3	+ 0,1	− 1,0	− 5,1
4 9	90	45,9	40,2	86,1	+ 2,9	− 3,3	− 0,2
5 8	120	41,6	45,9	87,5	+ 4,3	+ 2,0	− 2,5
6 7	150	32,7	38,5	71,2	− 12,0	+ 3,5	− 3,7
				$16\alpha = 83,2$		− 12,4	− 16,5
13 24	10° 0′	39,3	37,7	77,0	− 6,6	+ 1,5	+ 3,1
14 23	40	48,8	44,8	93,6	+ 10,0	− 2,0	− 2,2
15 22	70	44,5	45,7	90,2	+ 6,6	+ 6,9	+ 2,7
16 21	100	40,5	36,1	76,6	− 7,0	+ 1,7	+ 0,1
17 20	130	43,9	40,9	84,8	+ 1,2	− 0,1	+ 2,1
18 19	160	38,7	40,5	79,2	− 4,4	− 3,7	+ 3,3
				$16\alpha = 83,6$		+ 4,3	+ 9,1
25 36	20° 0′	46,8	45,3	92,1	+ 14,8	− 4,4	− 5,9
26 35	50	41,3	38,5	79,8	+ 2,5	− 3,7	− 2,5
27 34	80	40,4	40,7	81,1	+ 3,8	+ 2,2	− 0,1
28 33	110	34,2	34,5	68,7	− 8,6	− 7,4	− 4,5
29 32	140	37,0	39,1	76,1	− 1,2	− 1,8	− 1,7
30 31	170	36,3	29,7	66,0	− 11,3	− 4,3	+ 2,7
				$16\alpha = 77,3$		− 19,4	− 12,0
37 48	5° 0′	31,1	29,6	60,7	− 13,8	+ 1,3	+ 0,6
38 47	35	40,5	42,7	83,2	+ 8,7	− 4,7	+ 1,1
39 40	65	42,1	34,9	77,0	+ 2,5	+ 0,5	+ 0,3
40 45	95	42,1	45,8	87,9	+ 13,4	− 6,1	− 0,4
41 44	125	36,2	34,2	70,4	− 4,1	− 2,6	+ 3,2
42 43	155	30,6	37,2	67,8	− 6,7	− 3,0	+ 1,6
				$16\alpha = 74,5$		− 14,6	+ 6,4
49 60	15° 0′	49,7	53,0	102,7	+ 10,5	− 3,5	− 4,4
50 59	45	48,5	53,3	101,8	+ 9,6	− 0,9	+ 6,9
51 58	75	49,7	42,0	91,7	− 0,5	− 2,1	− 5,4
52 57	105	50,1	41,1	91,2	− 1,0	+ 2,9	+ 2,5
53 56	135	39,9	43,4	83,3	− 8,9	− 1,7	+ 3,8
54 55	165	43,6	38,9	82,5	− 9,7	− 4,4	+ 1,3
				$16\alpha = 92,2$		− 9,7	+ 4,7
61 72	25° 0′	53,0	58,4	111,4	+ 16,2	− 2,0	+ 3,2
62 72	55	48,6	49,7	98,3	+ 3,1	− 5,0	− 0,1
63 70	85	51,4	52,9	104,3	+ 9,1	− 6,6	− 1,7
64 69	115	35,7	46,7	82,4	− 12,8	− 5,1	− 1,7
65 68	145	44,7	49,1	93,8	− 1,4	+ 2,5	− 1,5
66 67	175	39,1	42,2	81,3	− 13,9	− 3,3	− 1,2
				$16\alpha = 95,2$		− 19,5	− 3,0
						− 82,6	

Resultate:

$$\gamma = \frac{[v]}{72} = \frac{-82,6}{4 \times 72} = -0'',29$$

$\mu = \pm 0'',41$

$m = \pm 0'',29$

$\tau = \pm 0'',36$

$\tau' = \pm 0'',26$

$\tau'' = \pm 0'',24$

$\tau''' = \pm 0'',15$

$a = +0'',34 \pm 0'',10$

$b = +0'',12 \pm 0'',07$

$c = +0'',24 \pm 0'',10$

$A = 205^0 \pm 17^0$

$B = 142^0 \pm 33^0$

$C = 71^0 \pm 24^0$

Durchmesserfehler

$$= +0'',34 \sin(2\varphi + 205^0) + 0'',12 \sin(4\varphi + 142^0) + 0'',24 \sin(6\varphi + 71^0)$$

hier ihr mittlerer Fehler abgeleitet werden, wobei, um Weitläufigkeiten zu vermeiden, wegen der Bezeichnungen und Formeln auf die Heuvelinksche Arbeit verwiesen werden muß.

Es ist: $\operatorname{tg}(\beta + A) = -\frac{a_2}{a_1}$; daraus folgt durch Differenzieren:

$$dA = \frac{a_2\, da_1 - a_1\, da_2}{a_1^2} \cos^2(\beta + A).$$

Ferner ist mit $\beta = 45^0$:

$$\cos^2(\beta + A) = \frac{a_1^2}{2\,a^2},$$

so daß wird:

$$dA = \frac{a_2\, da_1 - a_1\, da_2}{2\,a^2}.$$

Versteht man jetzt unter den Differentialen „mittlere Fehler“ und beachtet, daß die m. F. von a_1 und a_2 gleich $\pm M\sqrt{\frac{2}{n}}$ sind und daß die Gleichung gilt:

$$\frac{a_1^2 + a_2^2}{2} = a^2,$$

so erhält man für das Quadrat des m. F. in A den Ausdruck

$$M_A^2 = \frac{M^2}{a^2 \cdot n}$$

und damit

$$M_A = \pm \frac{M}{a\sqrt{n}}, \quad \text{wobei} \quad \begin{cases} M = \sqrt{\frac{[xx]}{36-6}} = 0{,}59 \\ a = 0{,}34 \\ n = 36 \end{cases}$$

zu setzen ist.

Für die mittleren Fehler der beiden anderen Phasenwinkel ergibt sich

$$M_B = \pm \frac{M}{b\sqrt{2n}}; \qquad M_C = \pm \frac{M}{c\sqrt{n}}.$$

Die numerischen Werte $\left\{\begin{array}{l} M_A = \pm 0{,}29 \\ M_B = \pm 0{,}58 \\ M_C = \pm 0{,}41 \end{array}\right\}$ sind als Arcus zu verstehen und geben mit 57,3 multipliziert Grade.

Außer den in Tafel 1 gegebenen Werten interessiert noch die Ablesegenauigkeit an den Mikroskopen. Diese fand sich gelegentlich der Runbestimmung aus dem Beobachtungsmaterial:

Mittlerer Fehler in der Ablesung eines Teilstriches bei Mikr. I . . $m_{a_I} = \pm 0'',66$

Derselbe für Mikr. II . . . . $m_{a_{II}} = \pm 0'',59$.

Im Mittel kann man daher setzen:

$$m_a = \pm 0'',63.$$

Der ziemlich hohe Wert für m_a erklärt sich aus den wenig günstigen Beleuchtungsverhältnissen für die Kreisablesung, die bei künstlicher Beleuchtung noch wesentlich verbessert werden wird. Der in der Tabelle angegebene Wert m setzt sich zusammen

aus den Ablesefehlern m_a an den Mikroskopen und den Zielfehlern m_z des Fernrohres, und zwar gilt nach Anlage der Messungen:

$$m^2 = \frac{m_a^2}{8} + \frac{m_z^2}{2} \qquad \text{oder:} \qquad m_z^2 = 2\,m^2 - \frac{m_a^2}{4} = 0{,}17 - 0{,}10 = 0{,}07\,;$$

somit:

$$m_z = \pm\, 0'',27.$$

Der Wert m_z beweist, daß die Einstellung auf die Ziele sehr genau war, und zwar wesentlich genauer, als er aus der von Noetzli[1]) gegebenen Formel $m_z = \pm \frac{3'',5}{\sqrt{V}}$ folgen würde. Da die Fernrohrvergrößerung $V = 50$ ist, hätte man nur $0'',5$ zu erwarten. Die Erklärung liegt natürlich in der besonderen Zielanordnung mit Keilablesung.

4. Wir wenden uns jetzt zur Diskussion der Ergebnisse und der Methode. — Vergleicht man die angegebenen Resultate mit den sehr zahlreichen Untersuchungen von Prof. Heuvelink[2]) selbst, so sieht man zunächst, daß der Kreis zu den besten gehört; denn die Werte τ und τ''' sind geringer, als sie selbst für Kreise von 27 cm Durchmesser im Mittel erhalten worden sind. Hierdurch erfährt die Ansicht von Heuvelink, daß eine Genauigkeitssteigerung der Teilung durch Wahl größerer Kreise nicht erreicht werden könne, erneut eine Stütze. Ferner zeigt der Wert m, daß die Genauigkeit der Beobachtungen das Mittel der für 27-cm-Kreise erzielten Genauigkeit übertrifft. Damit ist bewiesen, daß die Aufstellung auf einer Pfeilerplatte mindestens nicht ungünstiger ist als die Aufstellung auf drei getrennten Pfeilern. Ferner glauben wir, daß nach Verbesserung der Beleuchtung der Mikroskope an Genauigkeit noch mehr gewonnen werden wird. Dann wird auch die Überlegenheit der von uns gewählten Aufstellung noch deutlicher hervortreten. Denn auf die Genauigkeit der Messungen, insbesondere der Mikroskopeinstellungsgenauigkeit (= Ablesegenauigkeit), kommt es gerade beim Heuvelinkschen Verfahren besonders an, wenn man bei den doch verhältnismäßig wenig Einstellungen ein brauchbares Ergebnis erhalten will, im Hinblick darauf, daß die zu ermittelnden Werte von derselben Größenordnung sind wie die Einstellungsgenauigkeit, ja sie oft nicht einmal erreichen. Über die Sicherheit der erhaltenen Zahlenwerte möchten wir noch folgendes bemerken. Die mittleren Fehler der Koeffizienten der periodischen Reihe hängen von der Größe des gemessenen Winkels ab. In unserem Fall, bei einem Winkel von 45^0, verhalten sich die mittleren Fehler wie $1 : \frac{1}{\sqrt{2}} : 1$ oder die Gewichte wie $1:2:1$, d. h. der Koeffizient des zweiten Gliedes ist genauer bestimmt als die beiden anderen. Vom theoretischen Standpunkt aus ist das zunächst nur ein Schönheitsfehler, der aber auch gelegentlich von praktischer Bedeutung sein kann. So ist es z. B. unmöglich, den Koeffizienten eines vierten Gliedes zu bestimmen, wenn man den Winkel 45^0 wählt, da er das Gewicht 0 erhalten würde. Man hat aber keine Gewähr dafür, daß die Koeffizienten etwa mit wachsender Ordnung abnehmen müßten. Ist schon das hier mitgeteilte Beispiel ein Beweis dafür, indem der dritte Koeffizient größer ist als der zweite, so ersieht man ferner aus der ausführlichen Tabelle bei Heuvelink, daß das offenbar sehr häufig vorkommt. Vereinzelt ist sogar in dieser Tabelle der dritte Koeffizient der größte. Teilungsuntersuchungen nach anderen Verfahren haben sehr oft derartige

---

[1]) *Diese Zeitschr.* ***35.*** S. 91. 1915.

[2]) Siehe Fußnote [2]) *S.* 53 *a. a. O. S. 80—84.*

weitergehende Abhängigkeiten von höheren Vielfachen des Beobachtungswinkels*) ergeben (s. z. B. auch Spanuth[1]). Ein Zeichen dafür, daß die Glieder höherer Ordnung, die nicht berechnet sind oder nicht berechnet werden können, eine erhebliche Rolle spielen, ist dadurch gegeben, daß dann die Werte τ, τ', τ'', ... nicht merklich abnehmen, sondern zuweilen sogar zunehmen. Dieses Kriterium ist jedoch nicht streng, wenn es auch im allgemeinen zutreffen wird. Es kann also der Fall eintreten, daß das Hauptglied der Reihe überhaupt nicht gefunden wird. Deshalb erscheint es notwendig, die Methode dahin zu erweitern, daß beliebig viele Koeffizienten mit gleicher Genauigkeit gefunden werden können. Den Mangel der ungleichmäßigen Genauigkeit in der Bestimmung der Koeffizienten kann man nur dadurch beseitigen, daß man die Messungen mit verschiedenen Winkeln ausführt. Mißt man z. B. die Winkel 20°, 40°, 60°, 80°, so ist man in der Lage, 8 Koeffizienten mit gleichen Gewichten zu bestimmen. Denn die Gewichte sind den Quadraten der Sinus der Vielfachen der Winkel proportional. Die Proportionalitätsfaktoren sind

für das	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9. Glied
bei einem Winkel von 20°	0,117	,413	,750	,970	,970	,750	,413	,117	0
„ „ „ „ 40°	,413	,970	,750	,117	,117	,750	,970	,413	0
„ „ „ „ 60°	,750	,750	0	,750	,750	0	,750	,750	0
„ „ „ „ 80°	,970	,117	,750	,413	,413	,750	,117	,970	0
zusammen	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25	0

Obwohl man in der Regel so viele Glieder nicht nötig haben wird, ist es doch angenehm, dasjenige Glied aufsuchen zu können, das den größten Einfluß ausübt. Es ist dann auch zweckmäßiger, beim Aufschreiben der Reihe die Glieder nach der Größe der Koeffizienten zu ordnen. In unserem Falle hätte man demnach zu schreiben:

$$\begin{aligned}\text{Durchmesserfehler} = &+ 0'',34 \sin(2\varphi + 205^0) \\ &+ 0'',24 \sin(6\varphi + 71^0) \\ &+ 0'',12 \sin(4\varphi + 142^0).\end{aligned}$$

Ebenso wäre besser anzuordnen:

Mittlerer Durchmesserfehler:	$\tau = \pm 0'',36$,
Derselbe, nach Ausschalten des größten Gliedes:	$\tau_1 = \pm 0,26$,
„ „ „ der beiden größten Glieder:	$\tau_2 = \pm 0,19$,
„ „ „ aller drei Glieder = mittl. zufälliger Teilungsfehler:	$\tau_3 = \pm 0,15$.

Der Rechnungsgang wird keineswegs verwickelt, da man die Glieder völlig unabhängig voneinander berechnen und an beliebiger Stelle abbrechen kann. In der Zahlentafel 2 geben wir eine Übersicht, aus der man entnehmen kann, welche Winkel gemessen werden müssen, um gleiches Gewicht für eine bestimmte Anzahl von Koeffi-

*) Anmerkung: Daß sogar ein Glied sehr hoher Ordnung noch eine erhebliche Rolle spielen kann, hat sich noch nachträglich für die Teilung der Kreisteilmaschine der Technischen Hochschule Hannover ergeben, über deren Untersuchung der eine von uns berichtet hat (s. *diese Zeitschr.* ***46.*** *S. 289 ff. 1926.*). Die Ausgleichung ist dort bis zu dem Gliede 6. Ordnung (s. S. 311, a. a. O.) durchgeführt und das Ergebnis in Abb. 8, S. 312 dargestellt. Die Beobachtungen weichen von dem Kurvenzug noch in systematischer Weise ab, und in der Tat hat sich gezeigt, daß das Glied 8. Ordnung von der Form $C \sin(16\alpha + \varphi)$ mit einer Amplitude von $C = 0'',22$ als viertgrößtes Glied nicht zu vernachlässigen ist. Es ist bereits auf S. 311 a. a. O. die Vermutung ausgesprochen worden, daß Glieder höherer Ordnung einflußreich sein könnten.

[1]) Spanuth, Untersuchung usw. Leipziger Dissert. Braunschweig 1913.

Zahlentafel 2.

Anzahl der zu bestimmenden Koeffizienten	Zu messende Winkel	Relatives Gewicht eines jeden Koeffizienten
1	90^0	1
2	60^0	$^3/_4$
3	45^0, 90^0, 135^0	2
4	36^0, 72^0	$1^1/_4$
5	30^0, 60^0, 90^0, 120^0, 150^0	3
6	—	—
7	$22^1/_2$, 45, ..., 135, $157^1/_2$	4
8	20, 40, 60, 80	$2^1/_4$
9	18, 36, ..., 144, 162	5
10	—	—
11	15, 30, ..., 135, 150, 165	6
12	—	—
13	—	—
14	12, 24, ..., 60, 72, 84	$3^3/_4$

Allgemein:
Anzahl der Koeffizienten $= n$.
Zu messende Winkel:

$$k \cdot \frac{180^0}{n+1},$$

wobei

$$k = 1, 2, \ldots, n,$$

wenn n ungerade, und

$$k = 1, 2, \ldots, \frac{n}{2},$$

wenn n gerade ist.

zienten zu erhalten. Man sieht, daß man bei denjenigen Winkelgruppen, die den Winkel 90^0 enthalten, mit vollem Programm arbeiten muß, oder daß man die Messungen mit den Winkeln $< 90^0$ mit doppeltem Gewicht ausführen muß. Dagegen kommt man zu der Bestimmung von 2, 4, 8 oder 14 Koeffizienten mit dem halben Programm aus. Wenn man also eine vermehrte Beobachtungstätigkeit anwenden will, so erscheint es am zweckmäßigsten, mit einem Winkel von 60^0 zu beginnen und die Berechnung durchzuführen. Läßt sich aus den 3 Werten τ, τ' und τ'', die in diesem Falle gefunden werden können, erwarten, daß die höheren Glieder eine Rolle spielen, so wird man noch die Messungen mit den Winkeln 20^0, 40^0 und 80^0 hinzunehmen, um das einflußreichste Glied zu finden. Das angedeutete Verfahren zur Bestimmung gleich genauer Koeffizienten unterscheidet sich von dem Schreiberschen Untersuchungsverfahren nur dadurch, daß das Untersuchungsintervall nicht mit dem kleinsten zu messenden Winkel übereinzustimmen braucht. Ist das aber doch der Fall, so werden außer den Koeffizienten der Reihe auch noch die Fehler der einzelnen Durchmesser gefunden. Hat man aber, wie bei dem einfachen Verfahren nach Heuvelink als Untersuchungsintervall 5^0 gewählt, so werden bei Messung der Winkel 20^0, 40^0, 60^0 und 80^0 nur die Fehler für diese Durchmesser einzeln gefunden, während die übrigen Messungen nur zur Erhöhung der Genauigkeit in der Bestimmung der Koeffizienten beitragen.

Nun ist es aber praktisch völlig berechtigt zu sagen, daß die Genauigkeit in der Bestimmung der weniger einflußreichen Koeffizienten nicht dieselbe zu sein braucht, wie die für die größeren Glieder. Nur kann man nicht von vornherein entscheiden, welches Glied einflußreich ist und welches nicht. Deshalb ist es angebracht, überhaupt weniger Wert auf die gleiche Genauigkeit der Koeffizienten zu legen, als vielmehr darauf, daß man wirklich einzelne Durchmesserfehler (oder -korrektionen) erhält, und zwar alle mit gleichem Gewicht. Wir möchten uns als Begründung a priori hierfür die Ausführung von H. Bruns zu eigen machen, welche er in seiner Abhandlung: Über die Untersuchung von Längenteilungen *Sächs. Ber. Math.-phys. Kl.* ***64***. *S. 66. 1912* auseinandergesetzt hat.

5. Wenn man auch, wenigstens nicht bei geodätischen Instrumenten, die auf irgendeine Weise ermittelten Durchmesserfehler rechnerisch anbringen wird, ist es doch wertvoll, eine Methode zu haben, die ohne Änderungen oder Zusatzeinrichtungen am Instrument wirklich Durchmesserfehler einer bestimmten Anzahl von Durchmessern liefert. Die Heuvelinksche Methode kann nun auch dahin erweitert werden, daß sie genau wie die Brunssche Rosettenmethode zur Bestimmung der einzelnen Durchmesserkorrektionen geeignet ist, ohne dabei andere Hilfsmittel zu erfordern, als sie ohnehin für das Heuvelink-Verfahren notwendig sind. In welcher Weise die Durchmesserkorrektionen gefunden werden können, soll an Beispielen erläutert werden. Wir denken uns das Theodolitfernrohr nacheinander auf „Ziel links“ und „Ziel rechts“ gerichtet. (Siehe Abb. 4.) Die Visierlinien mögen dann den Winkel i einschließen. Die runde Gradzahl dieses Winkels sei ϑ. Dann gilt, wenn unter dem Mikroskop I bei der Einstellung auf Ziel links die Gradzahl x und demnach bei Einstellung auf Ziel rechts die Gradzahl $x - \vartheta$ steht:

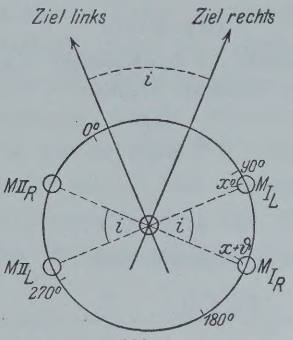


Abb. 4.

$$i = \left\{x + \vartheta + \frac{1}{2}(\mathrm{I} + \mathrm{II})_{R_{x+\vartheta}} + E_{x+\vartheta}\right\} - \left\{x + \frac{1}{2}(\mathrm{I} + \mathrm{II})_{L_x} + E_x\right\}.$$

Hierbei bedeutet $\frac{1}{2}(\mathrm{I} + \mathrm{II})_{R_{x+\vartheta}}$ das Mittel der Mikrometerangaben der Mikroskope I und II bei Anvisieren des rechten Zieles. Entsprechend ist der Ausdruck $\frac{1}{2}(\mathrm{I} + \mathrm{II})_{L_x}$ zu verstehen; die Größen E_x und $E_{x+\vartheta}$ sind die Durchmesserkorrektionen für die Durchmesser mit der Gradzahl x und $x + \vartheta$. (Die Durchmesserfehler, die in den vorigen Abschnitten benutzt worden sind, unterscheiden sich von ihnen nur durch das Vorzeichen!) Dreht man den Kreis so lange, bis bei Anvisieren des linken Zieles die Gradzahl $x + \vartheta$ unter dem Mikroskop I und damit die Gradzahl x unter dem Mikroskop II erscheint, so ergibt die Messung des Winkels i die Gleichung:

$$i = \left\{x + \frac{1}{2}(\mathrm{I} + \mathrm{II})_{R_x} + E_x\right\} - \left\{x - \vartheta + \frac{1}{2}(\mathrm{I} + \mathrm{II})_{L_{x-\vartheta}} + E_{x-\vartheta}\right\}.$$

Aus der Subtraktion obiger Gleichung für i von vorstehender folgt:

$$d_x^{\vartheta} = 2E_x - E_{x+\vartheta} - E_{x-\vartheta}$$

$$= \frac{1}{2}\left\{[(\mathrm{I} + \mathrm{II})_{L_{x-\vartheta}} + (\mathrm{I} + \mathrm{II})_{R_{x+\vartheta}}] - [(\mathrm{I} + \mathrm{II})_{R_x} + (\mathrm{I} + \mathrm{II})_{L_x}]\right\}. \qquad 1)$$

Diese Grundformel gibt an, in welcher Weise man die Mikroskopablesungen bei dem Winkel ϑ zur weiteren Rechnung zu kombinieren hat.

Will man z. B. die Durchmesserkorrektionen von 5^0 zu 5^0, also für 36 Durchmesser bestimmen, so ist nacheinander für den Winkel ϑ zu wählen:

1. Gruppe: $\vartheta = 45^0,\ 90^0,\ 135^0,$
2. Gruppe: $\vartheta = 20^0, 40^0, 60^0, 80^0, 100^0, 120^0, 140^0, 160^0.$

Die erste Gruppe liefert für den Durchmesser x die Gleichungen:

$$d_x^{45} = 2E_x - E_{x+45} - E_{x+135}$$
$$d_x^{90} = 2E_x - E_{x+90} - E_{x+90}$$
$$d_x^{135} = 2E_x - E_{x+135} - E_{x+45}$$

$$A_x = d_x^{45} + d_x^{90} + d_x^{135} = 8E_x - 2(E_x + E_{x+45} + E_{x+90} + E_{x+135}). \qquad 2)$$

Entsprechend folgt aus der zweiten Gruppe:

$$B_x = d_x^{20} + d_x^{40} + \cdots + d_x^{160} = 18E_x - 2(E_x + E_{x+20} + \cdots + E_{x+160}). \qquad 3)$$

Die Größen A_x und B_x sind nur aus den Beobachtungswerten zusammengesetzt; ihre Summe definiert eine Größe F_x:

$$A_x + B_x = F_x = 26 E_x - 2\,(E_{x,\,x+45\ldots x+135}) - 2\,(E_{x,\,x+20\ldots x+160}), \qquad 4)$$

wobei die abgekürzte Bezeichnungsweise ohne weiteres verständlich ist. Wir definieren jetzt zwei weitere Größen G_x und H_x durch die Gleichungen:

$$G_x = F_x + F_{x+45} + F_{x+90} + F_{x+135} \quad \text{und}$$
$$H_x = F_x + F_{x+20} + \cdots + F_{x+160},$$

und erhalten, indem wir die Bildungsvorschrift für G_x und H_x wirklich ausführen:

$$G_x = 18\,(E_{x,\,x+45\ldots x+135}) - 2\,(E_{x,\,x+5\ldots x+175}) \quad \text{und}$$
$$H_x = 8\,(E_{x,\,x+20\ldots x+160}) - 2\,(E_{x,\,x+5\ldots x+175}), \quad \text{oder}$$

$$\left.\begin{aligned} 2\,(E_{x,\,x+45\ldots x+135}) &= \frac{1}{9} G_x + \frac{2}{9}(E_{x,\,x+5\ldots x+175}) \quad \text{und} \\ 2\,(E_{x,\,x+20\ldots x+160}) &= \frac{1}{4} H_x + \frac{1}{2}(E_{x,\,x+5\ldots x+175}). \end{aligned}\right\} \qquad 5)$$

Setzen wir 5) in 4) ein und setzen die Summe aller Durchmesserkorrektionen $(E_{x,\,x+5\ldots x+175}) = 0$, so ergibt sich:

$$26\,E_x = F_x + \frac{1}{9} G_x + \frac{1}{4} H_x. \qquad 6)$$

In diesem Beispiel ist das volle Programm zu beobachten, weil der Winkel $\vartheta = 90^0$ vorkommt. Würde man die Winkel $> 90^0$ fortlassen, so ließen sich auch die E_x ableiten, jedoch müßte d_x^{90} nur mit halbem Gewicht in die Rechnung eingeführt werden. Damit wären aber dann die Gewichtsverhältnisse gestört, was gerade unerwünscht ist. Aus diesem Grunde sind auch die Entwicklungen von Fayet[1]), an den wir uns hier angeschlossen haben, im Brunsschen Sinne nicht ganz korrekt, denn dort wird nur mit halbem Programm, d. h. mit den Winkeln $\leqq 90^0$, gearbeitet.

Schreibt man die Gleichung 6), indem man auf die Bedeutung von G und H zurückgeht, in der Form:

$$E_x = \frac{1}{26}\left\{F_x + \frac{1}{9}(F_x + F_{x+45} + \cdots + F_{x+135}) + \frac{1}{4}(F_x + F_{x+20} + \cdots + F_{x+160})\right\}, \qquad 6^*)$$

so folgt aus diesem Ausdruck für das reziproke Gewicht einer jeden der 36 Unbekannten[2]):

$$\frac{1}{26}\left\{1 + \frac{1}{9} + \frac{1}{4} - \frac{1}{36}\left(1 + \frac{4}{9} + \frac{9}{4}\right)\right\}.$$

Das Gewicht wird damit gleich 20,66. Die Gewichtseinheit entspricht einer Fehlergleichung 1) aus einer Doppelreihe mit dem mittleren Fehlerquadrat $\mu^2 = \frac{m_a^{\,2}}{2} + m_z^{\,2}$, wobei μ den mittleren Fehler in der Bestimmung einer Richtung, m_a den mittleren Ablesefehler an den Mikroskopen und m_z den mittleren Zielfehler bedeuten. Da für eine Doppelreihe 1584 Richtungsbeobachtungen notwendig sind, ergibt sich für die Aufwandszahl[3]) bei 36 Unbekannten:

$$Z = \frac{1584}{36 \times 20{,}66} = 2{,}13.$$

---

[1]) Fayet, *Sur la détermination des erreurs des traits d'un cercle divisé. Ann. de l'Obs. Paris (Mémoires. Tome XXVII) 1910.*

[2]) S. Helmert, Meth. d. kl. Quadrate. 2. Aufl., S. 458.

[3]) Bruns, Untersuchung einer Wahnschaffschen Teilung. *Astron. Nachr.* ***130***. *S. 21. 1892.*

An einem zweiten Beispiel wollen wir zeigen, wie sich die Entwickelungen gestalten, wenn die zu messenden Winkel in drei Gruppen zerlegt werden können. Will man z. B. die Untersuchung von 3^0 zu 3^0 durchführen, so kann man zwar die zweiteilige Gruppierung:

$$\vartheta = \begin{cases} 36^0,\ 72^0,\ 108^0,\ 144^0 \\ 15^0,\ 30^0,\ 45^0,\ 60^0,\ 75^0,\ 90^0,\ 105^0,\ 120^0,\ 135^0,\ 150^0,\ 165^0 \end{cases}$$

vornehmen; die Arbeit wird aber geringer, wenn man in drei Gruppen ordnet:

$$\vartheta = \begin{cases} 60^0,\ 120^0 \\ 45^0,\ 90^0,\ 135^0 \\ 36^0,\ 72^0,\ 108^0,\ 144^0 \end{cases}.$$

Die einzelnen Gruppen ergeben die Gleichungen:

$$\left.\begin{aligned} A_x &= d_x^{60} + d_x^{120} &&= 6E_x - 2(E_x + E_{x+60} + E_{x+120}) \\ B_x &= d_x^{45} + d_x^{90} + d_x^{135} &&= 8E_x - 2(E_x + E_{x+45} + \cdots + E_{x+135}) \\ C_x &= d_x^{36} + d_x^{72} + \cdots + d_x^{144} &&= 10E_x - 2(E_x + E_{x+36} + \cdots + E_{x+144}) \end{aligned}\right\}$$

$$F_x = A_x + B_x + C_x = 24E_x - 2(E_{x,\,x+60,\,x+120}) - 2(E_{x,\,x+45\ldots x+135}) - 2(E_{x,\,x+36\ldots x+144})$$

$$\left.\begin{aligned} G_x &= F_x + F_{x+60} + F_{x+120} &&= 18(E_{x,\,x+60,\,x+120}) - 2(E_{x,\,x+15\ldots x+165}) - 2(E_{x,\,x+12\ldots x+168}) \\ H_x &= F_x + F_{x+45} + \cdots + F_{x+135} &&= 16(E_{x,\,x+45\ldots x+135}) - 2(E_{x,\,x+15\ldots x+165}) - 2(E_{x,\,x+9\ldots x+171}) \\ J_x &= F_x + F_{x+36} + \cdots + F_{x+144} &&= 14(E_{x,\,x+36\ldots x+144}) - 2(E_{x,\,x+12\ldots x+168}) - 2(E_{x,\,x+9\ldots x+171}) \end{aligned}\right\}$$

$$\left.\begin{aligned} 2(E_{x,\,x+60,\,x+120}) &= \frac{1}{9}G_x + \frac{2}{9}(E_{x,\,x+15\ldots x+165}) + \frac{2}{9}(E_{x,\,x+12\ldots x+168}) \\ 2(E_{x,\,x+45\ldots x+135}) &= \frac{1}{8}H_x + \frac{1}{4}(E_{x,\,x+15\ldots x+165}) + \frac{1}{4}(E_{x,\,x+9\ldots x+171}) \\ 2(E_{x,\,x+36\ldots x+144}) &= \frac{1}{7}J_x + \frac{2}{7}(E_{x,\,x+12\ldots x+168}) + \frac{2}{7}(E_{x,\,x+9\ldots x+171}) \end{aligned}\right\}.$$

10) in 8) eingesetzt, ergibt als Definition einer neuen Größe K_x:

$$\begin{aligned} K_x &= F_x + \frac{1}{9}G_x + \frac{1}{8}H_x + \frac{1}{7}J_x \\ &= 24E_x - \frac{17}{36}(E_{x,\,x+15\ldots x+165}) - \frac{32}{63}(E_{x,\,x+12\ldots x+168}) - \frac{15}{28}(E_{x,\,x+9\ldots x+171}). \end{aligned}$$

Unter Einführung weiterer Größen L_x, M_x, N_x wird:

$$\left.\begin{aligned} L_x &= K_x + K_{x+15} + \cdots + K_{x+165} = \left(24 - \frac{17}{3}\right)(E_{x,\,x+15\ldots x+165}) &&= \frac{55}{3}(E_{x,\,x+15\ldots x+165}) \\ M_x &= K_x + K_{x+12} + \cdots + K_{x+168} = \left(24 - \frac{160}{21}\right)(E_{x,\,x+12\ldots x+168}) &&= \frac{344}{21}(E_{x,\,x+12\ldots x+168}) \\ N_x &= K_x + K_{x+9} + \cdots + K_{x+171} = \left(24 - \frac{75}{7}\right)(E_{x,\,x+9\ldots x+171}) &&= \frac{93}{7}(E_{x,\,x+9\ldots x+171}) \end{aligned}\right\},$$

wenn man wieder $(E_{x,\,x+3\ldots x+177}) = 0$ setzt.

Bildet man gemäß 11):

$$\left.\begin{aligned} \frac{17}{36}(E_{x,\,x+15\ldots x+165}) &= \frac{17}{660}L_x \\ \frac{32}{63}(E_{x,\,x+12\ldots x+168}) &= \frac{4}{129}M_x \\ \frac{15}{28}(E_{x,\,x+9\ldots x+171}) &= \frac{5}{124}N_x \end{aligned}\right\},$$

und setzt 13) in 11) ein, so folgt:

$$24\,E_x = K_x + \frac{17}{660}\,L_x + \frac{4}{129}\,M_x + \frac{5}{124}\,N_x. \qquad 14)$$

Da nur die Beobachtungsgrößen F_x sämtlich gleiches Gewicht haben, nicht aber die Größen $G_x, H_x, J_x, K_x, L_x, M_x, N_x$, so ist für die Gewichtsbestimmung alles auf F_x zurückzuführen. Bei Beachtung, daß

$$F_x + F_{x+3} + \cdots + F_{x+177} = 0$$

ist, wird:

$$\left.\begin{aligned} L_x &= \frac{11}{6}\,(F_{x,\,x+15\,\ldots\,x+165}) \\ M_x &= \frac{43}{21}\,(F_{x,\,x+12\,\ldots\,x+168}) \\ N_x &= \frac{31}{14}\,(F_{x,\,x+9\,\ldots\,x+171}) \end{aligned}\right\}. \qquad 15)$$

Damit wird schließlich:

$$\left.\begin{aligned} 24\,E_x = F_x &+ \frac{1}{9}(F_x + F_{x+60} + F_{x+120}) + \frac{1}{8}(F_x + F_{x+45} + \cdots + F_{x+135}) \\ &+ \frac{1}{7}(F_x + F_{x+36} + \cdots + F_{x+144}) + \frac{17}{360}(F_x + F_{x+15} + \cdots + F_{x+165}) \\ &+ \frac{4}{63}(F_x + F_{x+12} + \cdots + F_{x+168}) + \frac{5}{56}(F_x + F_{x+9} + \cdots + F_{x+171}). \end{aligned}\right\} \qquad 16)$$

Für das reziproke Gewicht eines jeden E_x folgt hieraus für Beobachtung mit Wiederholung:

$$\frac{1}{24}\left\{1 + \frac{1}{9} + \frac{1}{8} + \frac{1}{7} + \frac{17}{360} + \frac{4}{63} + \frac{5}{56} - \frac{1}{60}\left(1 + \frac{3}{9} + \frac{4}{8} + \frac{5}{7} + \frac{204}{360} + \frac{60}{63} + \frac{100}{56}\right)\right\},$$

d. h. das Gewicht ist 16,2. Die Aufwandszahl wird 2,22. Gewichtseinheit ist wieder eine einfache Richtungsbeobachtung mit dem mittleren Fehler μ.

Wir wollen nicht unerwähnt lassen, daß die in den Gleichungen 8) bis 16) gegebenen Entwicklungen für die praktische Durchführung der Rechnung nicht die vorteilhaftesten sind. Wir haben sie gewählt, weil der Ausdruck 16) sich besonders für die Gewichtsberechnung eignet. Ganz kurz wollen wir aber noch eine andere Entwicklung mitteilen, die zu einem bequemeren Endergebnis führt. Wir bilden aus 7):

$$F_x = A_x + C_x = 16\,E_x - 2\,(E_{x,\,x+60,\,x+120}) - 2\,(E_{x,\,x+36\,\ldots\,x+144}). \qquad 8^*)$$

Ferner:

$$\left.\begin{aligned} G_x &= F_x + F_{x+60} + F_{x+120} &&= 10\,(E_{x,\,x+60,\,x+120}) - 2\,(E_{x,\,x+12\,\ldots\,x+168}) \\ H_x &= F_x + F_{x+36} + \cdots + F_{x+144} &&= 6\,(E_{x,\,x+36\,\ldots\,x+144}) - 2\,(E_{x,\,x+12\,\ldots\,x+168}) \end{aligned}\right\} \qquad 9^*)$$

$$\left.\begin{aligned} 2\,(E_{x,\,x+60,\,x+120}) &= \frac{1}{5}\,G_x + \frac{2}{5}\,(E_{x,\,x+12\,\ldots\,x+168}), \\ 2\,(E_{x,\,x+36\,\ldots\,x+144}) &= \frac{1}{3}\,H_x + \frac{2}{3}\,(E_{x,\,x+12\,\ldots\,x+168}). \end{aligned}\right\} \qquad 10^*)$$

10*) in 8*) eingesetzt, ergibt bei Addition von B_x aus 7) als Definition einer neuen Größe J_x:

$$J_x = F_x + \frac{1}{5}\,G_x + \frac{1}{3}\,H_x + B_x = 24\,E_x - 2\,(E_{x,\,x+45,\,x+90,\,x+135}) - \frac{16}{15}\,(E_{x,\,x+12\,\ldots\,x+168}). \qquad 11^*)$$

Wir bilden weiter:

$$\left.\begin{aligned} P_x &= J_x + J_{x+45} + \cdots + J_{x+135} = 16\,(E_{x,\,x+45\,\ldots\,x+135}) - \frac{16}{15}(E_{x,\,x+3,\,x+6\,\ldots\,x+177}), \\ Q_x &= J_x + J_{x+12} + \cdots + J_{x+168} = \ 8\,(E_{x,\,x+12\,\ldots\,x+168}) - 2\,(E_{x,\,x+3,\,x+6\,\ldots\,x+177}), \end{aligned}\right\} \quad 12^*)$$

und setzen $(E_{x,\,x+3,\,x+6\,\ldots\,x+177}) = 0$; dann folgt:

$$\left.\begin{aligned} 2\,(E_{x,\,x+45\,\ldots\,x+135}) &= \frac{1}{8}P_x, \\ \frac{16}{15}(E_{x,\,x+12\,\ldots\,x+168}) &= \frac{2}{15}Q_x. \end{aligned}\right\} \quad 13^*)$$

Wird 13*) in 11*) eingesetzt, so wird schließlich:

$$24\,E_x = J_x + \frac{1}{8}P_x + \frac{2}{15}Q_x. \qquad 14^*)$$

14*) ist für die Rechnung bequemer, weil rechts nur drei Glieder stehen, statt vier bei 14) und weil die Faktoren einfacher sind, als dort. Dagegen ist 14) vorteilhafter für die kurze Darstellung in der folgenden Zahlentafel 3, weil nur ein Buchstabe F zur Bezeichnung der Beobachtungsgrößen benutzt zu werden braucht.

Die hier gegebene Anwendung des Heuvelinkschen Verfahrens entspricht der Brunsschen Methode mit vier Mikroskopen. Wenn man aber die Möglichkeit hat, mehr als zwei Kollimatoren aufzustellen, so kann man auch die Rosettenmethode mit „Zielrosetten", entsprechend den Mikroskoprosetten bei Bruns, durchführen. Hierauf wollen wir jedoch nicht näher eingehen.

Wir fügen dagegen eine ausführliche Tabelle (s. Taf. 3) an, aus der man alles Nötige entnehmen kann, wenn man die geschilderte Erweiterung des Heuvelink-Verfahrens erproben will. Wir betonen nochmals, daß die für E_x gegebenen Formeln bei den Untersuchungsintervallen von 6°, 3°, 2° und 1°, die eine dreifache Gruppierung der zu messenden Winkel zulassen, in einfacherer Gestalt erhalten werden können. Die Entwicklung dieser Ausdrücke gemäß den Formeln 8*) bis 14*) kann dem Leser überlassen bleiben. Im besonderen soll die Tabelle einen Vergleich des Arbeitsaufwandes mit dem gewöhnlichen Heuvelink-Verfahren ermöglichen. Bei diesem sind bei Einstellung nur eines Striches im Mikroskop und bei Messung eines Winkels nach dem von Heuvelink selbst gegebenen Messungsprogramm von 5° zu 5°, mit Hin- und Rückgang und Doppelmessung 576 Ablesungen an den Mikroskopen und 288 Zielungen mit dem Fernrohr erforderlich. Stellt man zwei nebeneinander liegende Striche ein, so verdoppelt sich die Zahl der Mikroskopablesungen. Aus der Tabelle entnehmen wir, daß die Anwendung der Rosettenmethode bis zum Untersuchungsintervall von 15° weniger oder höchstens die gleiche Arbeit erfordert.

Die Tabelle kann auch noch in folgender Weise benutzt werden. Z. B. ist es nicht nötig, wenn man die Durchmesserkorrektionen von Grad zu Grad zu erhalten wünscht, die angegebenen 15 Winkel mit 21600 Mikroskopablesungen „in einem Guß" zu messen, sondern es genügt, die Untersuchung z. B. von 4° zu 4° viermal mit den Anfangsstrichen 0°, 1°, 2° und 3° zu wiederholen (was 17280 Ablesungen ergibt), wie der eine von uns [1]) erst kürzlich wieder gezeigt hat. Denn die dann auftretenden „Rosettenkorrektionen" können stets gleich 0 gesetzt werden. Noch geringer wird die Arbeit, allerdings auch das Gewicht, wenn man dreimal von 3° zu 3° mißt. Man benötigt dann nur 12960 Ablesungen.

6. Zum Schluß wollen wir noch kurz auf Untersuchungsergebnisse von Wild [2])

---

[1]) L. Fritz, Untersuchungen an einer Kreisteilmaschine. *Diese Zeitschr.* **46**. *S. 289 ff. 1926.*

[2]) *Schweizer. Zeitschr. f. Verm.-Wes. u. Kult. Techn.* **23**. *S. 123 ff. 1925.*

Zahlentafel 3.

Untersuchungs-intervall	Zu messende Winkel	Art der Messung	Anzahl der Mikrosk. Ables.	Anzahl der Fernrohr-Zielungen	Formeln für die Durchmesserkorrektion E_x	Gewicht jeder Ø-Korrekt. (Gew.-Einh. eine Richt.-Mess.)	Aufwandszahl
20°	20, 40, 60, 80	2×halbes Progr. mit Wiederh.	576	288	$F_x = d_x^{20, 40, 60, 80}$ $9 E_x = F_x$	19,0	1,68
18	90 — 36, 72, 108, 144	1×volles Progr. mit Wiederh.	400	200	$F_x = \begin{cases} d_x^{90} \\ + d_x^{36, 72, 108, 144} \end{cases}$ $14 E_x = F_x + \frac{1}{5} \sum_{90} F_x + \frac{1}{2} \sum_{36} F_x$	10,7	1,87
15	60, 120 — 45, 90, 135	„	480	240	$F_x = \begin{cases} d_x^{60, 120} \\ + d_x^{45, 90, 135} \end{cases}$ $14 E_x = F_x + \frac{1}{4} \sum_{60} F_x + \frac{1}{3} \sum_{45} F_x$	10,6	1,89
12	60 36, 72	2×halbes Progr. mit Wiederh.	720	360	$F_x = \begin{cases} d_x^{60} \\ + d_x^{36, 72} \end{cases}$ $8 E_x = F_x + \frac{1}{5} \sum_{60} F_x + \frac{1}{3} \sum_{45} F_x$	12,1	1,98
10	90 — { 20, 40, 60, 80 100, 120, 140, 160	1×volles Progr. mit Wiederh.	1296	648	$F_x = \begin{cases} d_x^{90} \\ + d_x^{20, 40, 60 \ldots 140, 160} \end{cases}$ $22 E_x = F_x + \frac{1}{9} \sum_{90} F_x + \frac{1}{2} \sum_{20} F_x$	16,4	2,19
9	45, 90, 135 — 36, 72, 108, 144	„	1120	560	$F_x = \begin{cases} d_x^{45, 90, 135} \\ + d_x^{36, 72, 108, 144} \end{cases}$ $18 E_x = F_x + \frac{1}{5} \sum_{45} F_x + \frac{1}{4} \sum_{36} F_x$	13,8	2,02
6	90 — 60, 120 — 36, 72, 108, 144	„	1680	840	$F_x = \begin{cases} d_x^{90} \\ + d_x^{60, 120} \\ + d_x^{36, 72, 108, 144} \end{cases}$ $20 E_x = \begin{cases} F_x + \frac{1}{8} \sum_{90} F_x + \frac{1}{7} \sum_{60} F_x + \frac{1}{5} \sum_{36} F_x \\ + \frac{3}{56} \sum_{30} F_x + \frac{13}{120} \sum_{18} F_x \\ + \frac{6}{35} \sum_{12} F_x \end{cases}$	13,5	2,07
5	45, 90, 135 — { 20, 40, 60, 80 100, 120, 140, 160	„	3168	1584	$F_x = \begin{cases} d_x^{45, 90, 135} \\ d_x^{20, 40 \ldots 140, 160} \end{cases}$ $26 E_x = F_x + \frac{1}{9} \sum_{45} F_x + \frac{1}{4} \sum_{20} F_x$	20,7	2,13
4	36, 72 — 20, 40, 60, 80	2×halbes Progr. mit Wiederh.	4320	2160	$F_x = \begin{cases} d_x^{36, 72} \\ + d_x^{20, 40, 60, 80} \end{cases}$ $14 E_x = F_x + \frac{1}{9} \sum_{36} F_x + \frac{1}{5} \sum_{20} F_x$	22,6	2,12
3	60, 120 — 45, 90, 135 — 36, 72, 108, 144	1×volles Progr. mit Wiederh.	4320	2160	$F_x = \begin{cases} d_x^{60, 120} \\ + d_x^{45, 90, 135} \\ + d_x^{36, 72, 108, 144} \end{cases}$ $24 E_x = \begin{cases} F_x + \frac{1}{9} \sum_{60} F_x + \frac{1}{8} \sum_{45} F_x \\ + \frac{1}{7} \sum_{36} F_x + \frac{17}{360} \sum_{15} F_x \\ + \frac{4}{63} \sum_{12} F_x + \frac{5}{56} \sum_{9} F_x \end{cases}$	16,2	2,22

Zahlentafel 3. (Fortsetzung.)

Untersuchungs-intervall	Zu messende Winkel	Art der Messung	Anzahl der Mikrosk. Ables.	Anzahl der Fernrohr-Zielungen	Formeln für die Durchmesserkorrektion E_x	Gewicht jeder Ø-Korrekt. (Gew.-Einh. eine Richt.-Mess.)	Aufwandszahl
2°	90 — 36, 72, 108, 144 — 20, 40, 60, 80 100, 120, 140, 160	1×volles Progr. mit Wiederh.	9360	4680	$F_x = \begin{cases} d_x{}^{90} \\ + d_x{}^{36, 72, 108, 144} \\ + d_x{}^{20, 40 \ldots 140, 160} \end{cases}$ $32 E_x = \begin{cases} F_x + \frac{1}{14} \sum\limits_{90} F_x + \frac{1}{11} \sum\limits_{36} F_x \\ + \frac{1}{7} \sum\limits_{20} F_x + \frac{25}{1386} \sum\limits_{18} F_x \\ + \frac{3}{70} \sum\limits_{10} F_x + \frac{9}{77} \sum\limits_{4} F_x \end{cases}$	23,1	2,25
1	45, 90, 135 — 36, 72, 108, 144 — 20, 40, 60, 80 100, 120, 140, 160	„	21600	10800	$F_x = \begin{cases} d_x{}^{45, 90, 135} \\ + d_x{}^{36, 72, 108, 144} \\ + d_x{}^{20, 40 \ldots 140, 160} \end{cases}$ $36 E_x = \begin{cases} F_x + \frac{1}{14} \sum\limits_{45} F_x + \frac{1}{13} \sum\limits_{36} F_x \\ + \frac{1}{9} \sum\limits_{20} F_x + \frac{3}{182} \sum\limits_{9} F_x \\ + \frac{23}{630} \sum\limits_{5} F_x + \frac{11}{234} \sum\limits_{4} F_x \end{cases}$	27,2	2,21

eingehen. Wild mißt einen Winkel von nahezu 36^0 ($=40^g$) mit den vier Anfangslagen 0^0, 9^0, 18^0, 27^0 unter Verdrehen des Kreises um jedesmal 36^0. Als Ziele dienen zwei an den Wänden des Beobachtungsraumes in genau gleichen Abständen angebrachte Marken. Die Ergebnisse der Messungen in den vier verschiedenen Anfangslagen werden einfach zusammengefügt, ohne dabei die „Rosettenkorrektionen“ zu berücksichtigen. Bei nur fünf Durchmessern, die durch das Verfahren unabhängig bestimmt werden, ist das mindestens bedenklich. Deshalb ist eine derartige Messung weniger als eine Teilungsfehlerbestimmung zu bewerten, obwohl sie sicher in den meisten Fällen ausreichen dürfte, um grobe Fehler zu entdecken; sie ist vielmehr nur eine systematische Messung an gleichmäßig verteilten Kreisstellen. Immerhin ersieht man, wie sehr heute außer den Gebrauchern auch die Herstellerfirmen bemüht sind, durch laufende Untersuchungen sich über die gleichbleibende Güte ihrer Teilungen zu unterrichten und womöglich sogar jedem einzelnen Instrument eine Tabelle der Teilungsfehler beizugeben. Einen ganz wesentlichen Beitrag für die rasche Untersuchung von Kreisen hat Heuvelink durch seine Methode geliefert. Der hohe Wert dieser Methode, der ja ganz besonders darin liegt, daß die Kreise in situ geprüft werden können, wird noch dadurch erhöht, daß sie sich in mancher Hinsicht erweitern läßt, wie wir gezeigt zu haben glauben. Es ist allerdings nicht zu vergessen, daß die Genauigkeit des Bruns-Heuvelink-Verfahrens nicht die bei einer Untersuchung auf einem Teilungsprüfer erreichbare Genauigkeit haben wird, da zu den Ablesefehlern an den Mikroskopen noch die Zielfehler des Fernrohres hinzukommen. Deswegen kam es uns auch darauf an, zu zeigen, daß der Zielfehler sehr klein gehalten werden kann. Es ist zu erwarten, daß eine Kreisprüfung nach dem Rosettenverfahren wegen dieser Kleinheit noch völlig ausreichende Genauigkeit liefern wird. Wir hoffen, in nicht allzulanger Zeit über eine Bestimmung einzelner Durchmesserkorrektionen berichten zu können.

Zur Bestimmung von Kreisteilfehlern.

Von
A. Bohrmann in Heidelberg.

Es möge im folgenden kurz über eine Kreisuntersuchung berichtet werden, die insofern Interesse besitzen wird, als dabei die neue, von Prof. Heuvelink *in dieser Zeitschr.* ***45.*** *S. 70—84. 1925* dargelegte Methode mit der alten Besselschen Methode verglichen wurde. Es handelte sich um den 28 cm-Höhenkreis eines großen Universalinstrumentes mit Mikrometerablesung und gebrochenem Fernrohr von 60 mm Öffnung. Das Instrument war im Keller des Ost-Instituts der Königstuhl-Sternwarte aufgestellt. Als Zielobjekte dienten die Fadennetze zweier kleiner Hildebrandscher Theodolite, deren einer in einer Nische der dem Pfeiler gegenüberstehenden Wand fest aufgestellt war, der andre aber, mittels einer besonderen Vorrichtung an einer Eisenschiene an der Decke hängend, längs dieser verschoben werden konnte. So war es möglich, jeden beliebigen Winkel zwischen den Absehlinien herzustellen. Die Fadennetze der Hilfstheodolite wurden durch kleine Glühlämpchen beleuchtet. Die Justierung der Anordnung war nicht immer leicht[1]).

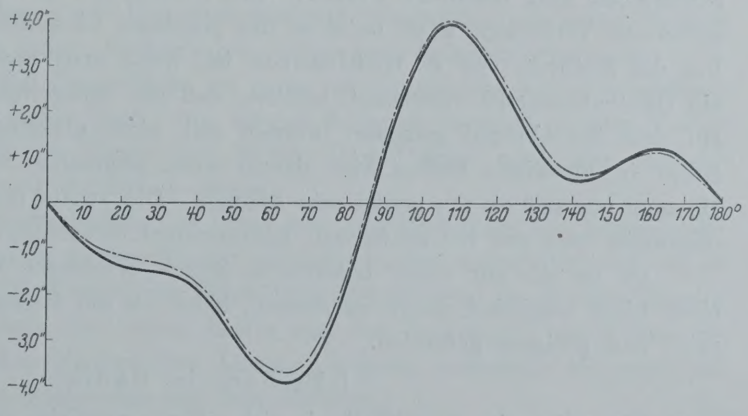
Die Messungen für das Heuvelinksche Verfahren wurden in derselben Weise wie in dem Beispiel des Verfassers in der oben genannten Arbeit durchgeführt. Der abzutragende Winkel war 45^0. Nach der Besselschen Methode sind die Fehler der 5^0-Striche relativ einfach, nämlich durch zwei Unterteilungen in zwei Teile (90^0- und 45^0-Striche) und zwei weitere in drei Teile (15^0- und 5^0-Striche) bestimmt worden. Die Zahl der Einzelmessungen richtete sich dabei nach der Forderung, daß der mittlere Fehler der Korrektion eines 5^0-Striches $\pm 0'',2$ nicht überschreiten solle, eine Forderung, die man kaum als zu hoch bezeichnen wird.

Die Ausgleichung der Messungen ergab:

Heuvelink: $x(\varphi) = \quad -2'',51 \cdot \sin 2\varphi + 1,28 \sin 4\varphi - 0,92 \cdot \sin 6\varphi$
$\qquad\qquad -0,37 \cdot \cos 2\varphi + 0,64 \cos 4\varphi - 0,27 \cdot \cos 6\varphi,$

Bessel: $x(\varphi) = -0'',02 - 2,57 \cdot \sin 2\varphi + 1,25 \cdot \sin 4\varphi - 1,01 \sin 6\varphi$
$\qquad\qquad -0,29 \cdot \cos 2\varphi + 0,67 \cdot \cos 4\varphi - 0,25 \cos 6\varphi.$

Man kann dieses Ergebnis, wie auch die graphische Darstellung zeigt (s. Abb.), als eine praktisch fast vollkommene Übereinstimmung deuten. Der durchschnittliche Unterschied der nach beiden Ausgleichungen berechneten Strichkorrektionen ist nur $\pm 0'',10$. Da man für die Korrektion der Beobachtungen nur die nach der Ausgleichung berechneten Werte benutzen wird, lohnt sich also der Mehraufwand an Arbeit beim Besselschen Verfahren ganz und gar nicht. Bei Heuvelink waren 160, bei Bessel über 2000 Einzelmessungen gemacht worden. Dabei darf man nicht etwa schließen, daß die



[1]) Auf die Verwendung zweier Kollimatoren hat mich Herr Prof. Hohenner hingewiesen.

Koeffizienten der Besselschen Reihe sicherer bestimmt wären als die der Heuvelinkschen. Es ist in unserm Falle sogar umgekehrt, indem ihre mittleren Fehler $\pm 0'',17$ bzw. $\pm 0'',13$ werden, was allerdings hier nur Zufall ist. Daß kein wesentlicher Unterschied zwischen den beiden mittleren Fehlern in dem zunächst zu vermutenden Sinne besteht, hat seinen Grund in der Größe des zufälligen Teilungsfehlers, der zu $\pm 0'',45$ bestimmt wurde und der die größere Genauigkeit der nach Bessel bestimmten direkten Strichkorrektionen illusorisch macht. Dabei ist dieser Betrag von $\pm 0'',45$ keineswegs ungewöhnlich groß zu nennen. Den periodischen Verlauf der Fehler hätte man also auch nach Bessel schon mit geringerem Aufwand an Messungen ebenso sicher bestimmt, doch bleibt auf jeden Fall das Heuvelinksche Verfahren das weitaus einfachere und wird sich immer da empfehlen, wo man nur den periodischen Verlauf, nicht die Einzelwerte der Strichkorrektionen kennenzulernen wünscht.

Zum Schluß seien noch die von Heuvelink zur Charakterisierung der Güte einer Teilung benutzten Größen angegeben:

$$\begin{aligned} \tau &= \pm 2'',58 \\ \tau' &= 1,80 \qquad\qquad M = \pm 0'',36. \\ \tau'' &= 0,91 \\ \tau''' &= 0,49. \end{aligned}$$

Die Teilung weist also ungewöhnlich große Fehler auf. Merkwürdig ist der fast symmetrische Verlauf derselben. Ob an eine später erfolgte Deformation des Kreises gedacht werden darf, kann ich nicht beurteilen.

Königstuhl-Sternwarte, August 1927.

Zur Messung von Linsenradien.

Von

Dr. A. Schleiermacher in Karlsruhe.

Der Krümmungsradius einer Linsenfläche kann bekanntlich mit dem Sphärometer oder durch die beiden Spiegelungsmethoden, wie sie im Lehrbuch von F. Kohlrausch beschrieben sind, bestimmt werden. Ein hinreichend zuverlässiges Sphärometer steht selten zur Verfügung, auch nutzt es die gegebene Linsenfläche oft nicht richtig aus. Bei der Methode von R. Kohlrausch ist, wenn man nicht einen Theodoliten oder ein Ophthalmometer verwendet, mißlich, daß die Spiegelbilder und der Glasmaßstab, auf dem ihr Abstand gemessen werden soll, nicht gleichzeitig scharf zu sehen sind. Selbst in günstigen Fällen wird darum, auch abgesehen von Abbildungsfehlern, die Messung nur auf ca. 1% genau sein können. Die zweite Spiegelungsmethode ist noch ungenauer und nur bei schwachen Krümmungen brauchbar.

Da es mir für einen besonderen Zweck erwünscht war, die Krümmungsradien einer Linse möglichst genau zu messen, habe ich die folgenden beiden Methoden geprüft und geeignet gefunden.

I. Drehung im Radius.

Wenn sich eine Kugelfläche in sich selbst verschiebt, ändert ein Spiegelbild seinen Ort nicht, sobald aber der Radius, mit dem die Kugelfläche gedreht wird, größer oder kleiner als ihr eigener ist, verschiebt sich das Bild. Das auf dieser Überlegung beruhende Verfahren bedarf also einer sicheren Drehungsachse und einer senkrecht mit ihr verbundenen Schiene, auf der die Linse grob- und feinstellbar verschoben werden

kann. Die optische Achse der Linse wird parallel zur Schiene gerichtet, indem die Spiegelbilder der Vorder- und Hinterfläche eines in gleicher Höhe mit der Linsenmitte in größerem Abstand aufgestellten Lichtes zum Zusammenfallen gebracht werden. Hierzu sind drei Schrauben, gegen die der Linsenhalter durch eine Feder gedrückt wird, bequem. Zur Feinverschiebung eines auf der Schiene gleitenden Schlittens, auf dem der Linsenhalter angebracht ist, kann Zahnstange und Trieb oder auch eine Schraube dienen, die an einem zweiten klemmbaren Schlitten befestigt sind. Längere Schienen unterstützt man durch eine quergestellte Rolle auf ebener Unterlage.

Das Spiegelbild einer Lichtmarke (Fensterkante, Spaltrohr) wird in einem ca. 20 cm vor der Linse aufgestellten Beobachtungsrohr mit Fadenkreuz (Fernrohr bzw. Mikroskop von passender Sehweite) beobachtet, während die Schiene um ihre Drehachse bewegt wird. Ist der Drehungsradius größer als der Linsenradius, so wandert das Bild im Sinn der Drehung, andernfalls entgegengesetzt, wodurch die richtige Einstellung der Linse leicht gefunden wird.

Nun muß der Abstand des vorderen Linsenscheitels von der Drehungsachse bestimmt werden, um ihren Krümmungsradius zu erhalten. Hierbei wurde folgendermaßen verfahren. Der konische Zapfen, mit dem die Schiene in passendem Lager gedreht wird, ist in einem mit ihm abgedrehten Zylinder zentrisch befestigt, auf dessen oberer Basis das Schienenende angeschraubt ist. In der Gegend der Drehachse ist auf der Schiene eine kurze Millimeterteilung angebracht, auf der der Ort der Drehachse durch Drehung um 180°, während ein Mikroskop mit Fadenkreuz auf die Teilung eingestellt ist, bestimmt werden kann. Ein schmaler Spiegelglasstreifen, der in der Verlängerung der Schiene am Zylindermantel parallel zur Drehachse angeklemmt ist, steht um den Zylinderradius von der Drechachse ab (was leicht kontrolliert werden kann, da der Ort der Drehachse auf der Teilung ermittelt ist). Wird nun der Abstand zwischen Glasstreifen und hinterem Linsenscheitel, den der Linsenhalter frei lassen muß, mit einem Stichmaß gemessen, so ist der gesuchte Radius der Vorderfläche gleich diesem Abstand, vermehrt um die Linsendicke und vermindert um den Abstand des Glasstreifens von der Drehachse. Als Stichmaße dienten Messingdrähte (5 mm) mit angedrehter Spitze, die in passender Hülse verschieblich sind. Am anderen Ende der Hülse ist (zur Schonung der Linsenfläche) eine Spitze aus Buchsbaumholz eingesetzt. Der Abstand der in Berührung mit Linsenscheitel und Glasstreifen gebrachten Spitzen des Stichmaßes wurde auf einem Maßstab mit unterlegten Spiegeln abgelesen.

Das Spiegelbild in der Linsenfläche ist nahe am Linsenrand verzerrt, wodurch man sich nicht täuschen lassen darf. Bei langen Schienen (benutzt wurden Latten aus Pechkieferholz von 25 mm Breite und 12 mm Dicke) kann auch eine seitliche Durchbiegung beim Hin- und Herdrehen stören.

Je größer das Öffnungsverhältnis der Linse, hier das Verhältnis von Linsenbreite zum Krümmungsradius, um so größer ist der mögliche Verdrehungswinkel und um so genauer die Einstellung. Als Beispiel der Einstellgenauigkeit seien die Stichmaßlängen angeführt, die bei einer Linse von 36 mm Breite und den Radien 258 und 77 mm gemessen wurden. Außer den Fehlern der Linseneinstellung enthalten sie noch die Fehler der Abmessung des Stichmaßes auf dem Maßstab.

Fläche I. Öffnungsverhältnis 0,14	Fläche II. Öffnungsverhältnis 0,47
287,5 7,0 7,2 7,2 7,3	105,9 5,9 5,8
Mittelwert 287,24 ± 0,14 mm	105,87 ± 0,03 mm

Ein weiteres Urteil über die Brauchbarkeit des Verfahrens bietet der Vergleich mit der zweiten Methode:

II. Autokollimation.

Den Krümmungsradius einer konkaven Linsenfläche bestimmt man am einfachsten als Abstand des Ortes, in dem Gegenstand und Bild zusammenfallen, von der Linsenfläche. Ebenso bekannt ist die Bestimmung der Schnittweite für Parallelstrahlen, wobei die Linse auf einen ebenen Spiegel aufgelegt und Bild mit Gegenstand zum Zusammenfallen gebracht werden. Der Abstand des Kollimationsortes vom Linsenscheitel, die Schnittweite, ist um den Abstand der oberen Hauptebene vom Scheitel kleiner als die Brennweite.

Zur Ausführung kann man eine feine Millimeterteilung auf unbelegtem Spiegelglas (Teilung abwärts) am Rohrhalter eines Mikroskops, was die Feineinstellung ermöglicht, befestigen und senkrecht über die Linse mit Spiegel in passendem Abstand aufstellen. Nach erreichter Kollimation, die durch Abwesenheit von Parallaxe festgestellt wird, mißt man den Abstand mit Stichmaß.

Die Schnittweiten für beide Flächen der Linse unterscheiden sich um die Differenz der Abstände der Hauptebenen von den Linsenscheiteln. Schnittweiten und Brennweite sind abhängig von der Farbe des angewandten Lichtes und wegen der Aberration in der Linse von ihrer Öffnung.

In bezug auf die Abhängigkeit von der Farbe würde man die Messung etwa mit Beleuchtung durch Natriumlicht zu machen haben. Damit kann man in der Tat bei Bestimmung der Brennweite nach den sonst üblichen Methoden schärfere Einstellungen erhalten, weil das Bild schärfer und der Bildort besser definiert ist.

Für den vorliegenden Zweck genügt aber auch die Einstellung bei Tageslicht, indem vermutlich das Auge auf die Farbe maximaler Helligkeit im Sonnenspektrum (von der E-Linie um ein Drittel des Abstandes zwischen D und E) einstellt.

Eine größere Unsicherheit bedingt jedoch die Aberration durch die Kugelgestalt. Da die üblichen, einfacheren Formeln nur für Paraxialstrahlen gelten, kann man die dafür geltenden Schnittweiten aus Beobachtungen bei verschiedener Abblendung der Linse ableiten, wenn größere Genauigkeit angestrebt wird. Es genügen dazu Messungen mit drei verschieden großen Blenden. Ergibt sich, daß die Schnittweite mit abnehmender Öffnung h der Blende zunimmt, so kann man unter Annahme, daß die Abweichung proportional mit h^2 ist, die Schnittweite für Paraxialstrahlen daraus ableiten. Aus dem Mittelwert der Schnittweiten für beide Linsenflächen, vermehrt um den Mittelwert der Abstände der beiden Hauptebenen von den beiden Linsenscheiteln, ergibt sich die Brennweite. Diese H-E-Abstände sind allerdings vorläufig noch nicht bekannt, da zu ihrer Bestimmung gerade die Linsenradien und der Brechungsexponent bekannt sein müssen. Man kann aber (bei Kronglas) den Mittelwert dieser Abstände ohne erheblichen Fehler gleich $^1/_3$ der Linsendicke annehmen und, wenn nötig, später verbessern.

Ist nun die Brennweite so oder nach anderen Methoden ermittelt, so fehlen noch zwei Bestimmungen, um die drei Unbekannten: Krümmungsradien und Brechungsexponent zu finden, die in den Formeln außer der Linsendicke auftreten. Hierzu dienen die Schnittweiten der Autokollimation bei Spiegelung an der einen bzw. an der zweiten Rückfläche durch die Linse zurück. Statt des ebenen Spiegels dient jetzt die Rückfläche der Linse, deren Reflexion durch Versilbern oder bequemer durch Auflegen auf eine kreisförmige, mit Quecksilber gefüllte Grube erhöht wird. Sind diese beiden Schnittweiten in der schon beschriebenen Weise bestimmt und durch verschiedene Blendengrößen auf ihre paraxialen Werte gebracht, so folgt die Berechnung der Krümmungsradien aus den nachstehenden Formeln.

Sei n der Brechungsexponent, f die Brennweite, d die Linsendicke, r_1 und r_2 die gesuchten Radien, c_1 die Schnittweite bei Spiegelung an der Fläche (r_2), also Abstand von Gegenstand und Bild von der Fläche (r_1), c_2 die Schnittweite gegen (r_2) bei Spiegelung an (r_1), so gilt:

$$\frac{1}{f}=(n-1)=\frac{r_2-r_1-\delta}{r_1 r_2}, \qquad 1)$$

wo $\delta=d\cdot\frac{n-1}{n}$ immer klein ist und mit einem ungefähren Wert von n genügend genau berechnet wird. Bei einer bikonkexen Linse ist der absolute Betrag von $r_2-r_1-\delta$ gleich der Summe der Radien weniger δ.

Ferner:

$$\frac{1}{c_1}=\frac{n}{r_2-d}-\frac{n-1}{r_1}, \qquad 2)$$

$$\frac{1}{c_2}=\frac{n}{r_1-d}-\frac{n-1}{r_2}. \qquad 3)$$

Schreibt man R_δ für $r_2-r_1-\delta$, R_d für r_2-r_1-d, so ist:
aus 1)

$$n-1=\frac{1}{f}\cdot\frac{r_1 r_2}{R_\delta};$$

aus 2)

$$n-1=\frac{r_1(r_2-(c_1+d))}{c_1\cdot R_d};$$

aus 3)

$$n-1=\frac{r_2(r_1-(c_2+d))}{c_2\cdot R_d};$$

und die Verbindung von 1) und 3) gibt

$$r_2=(c_1+d)\left(1-\frac{c_1}{f}\cdot\frac{R_d}{R_\delta}\right);$$

1) und 2)

$$r_1=(c_2+d)\left(1-\frac{c_2}{f}\cdot\frac{R_d}{R_\delta}\right).$$

Hat man schon Näherungswerte der Radien, so kann damit das Verhältnis $v=\frac{R_d}{R_\delta}$, das immer nur wenig kleiner als 1 ist, nahe genug berechnet werden. Andernfalls rechnet man mit $v=1$ und verbessert dann mit den genaueren Werten.

III. Vergleich der beiden Methoden.

Für beide Verfahren ist die Linsendicke mindestens so genau zu messen, daß keine Unsicherheit in den Werten der Radien entsteht, z. B. durch die Verschiebung eines Mikroskopes, das zuerst auf eine ebene, leicht bestäubte Fläche, dann auf den oberen Scheitel der darauf gelegten, bestäubten Linse eingestellt wird.

Die erste Methode hat den Vorteil der einfacheren Messung, den Nachteil, daß die Herrichtung des erforderlichen Gerätes umständlicher ist. Bei der zweiten Methode verhält es sich gerade umgekehrt und die Berechnung ist etwas umständlicher. Die erste Methode ist ohne weiteres auch für Zylinderlinsen anwendbar. Im Ergebnis scheinen

beide Verfahren gleichwertig zu sein. Einen unmittelbaren Vergleich gestattet die Messung des Krümmungsradius einer Konkavfläche, es wurde z. B. gemessen:

	Linse von 18 mm Öffnung	Linse von 59 mm Öffnung
r nach I	85,90 mm	74,93 mm
nach II	85,94 mm	75,00 mm

Die Differenz ist beide Male $< 0{,}1\%$.

An zwei bikonvexen Linsen wurden beide Radien gemessen:

	Linse I	Linse II
Öffnung h	= 36 mm	= 80 mm
Verhältnis h/r_1	= 0,14 mm	= 0,15 mm
z · Radius h/r_2	= 0,47 mm	= 0,40 mm
Methode I:		
r_1	= 258,33 mm	= 516,80 mm
r_2	= 76,85 mm	= 200,80 mm
Methode II:		
r_1	= 258,57 mm	= 517,16 mm
r_2	= 76,66 mm	= 200,73 mm

Auch hierbei ist die Differenz im Mittel $0{,}1\%$ und erreicht nur in einem Fall $0{,}25\%$, so daß damit die Brauchbarkeit beider Verfahren erwiesen ist. Der Brechungsexponent von Linsen kann danach mit einem Fehler von $\pm$ 5 Einheiten der vierten Dezimale bestimmt werden.

Zur Kenntnis der Porroschen Patentschriften mit einer Übertragung der Texte ins Deutsche.

Von

Moritz von Rohr in Jena.

Seitdem der Verfasser gegen Ende des Jahres 1899 in seiner Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs I. Porros 10 Schriften von photographischem Inhalt zusammengetragen und dabei (auf S. 109ff.) versucht hatte, zu einer Würdigung des bedeutenden Optikers zu kommen, hat er nur in Ed. Dolezals[1]) Aufsatz eine allgemeinere Behandlung mit ähnlichen Zielen gefunden. Dem ließ sich auch einiges für die photographischen Arbeiten Porros entnehmen, und man möchte heute seine Wirkung namentlich nach England hin für weiterreichend halten, als es in der oben angeführten Jugendarbeit geschehen ist.

Jetzt hält es der Verfasser für richtig, den Wortlaut der Patentschriften wiederzugeben, um dessen Sicherung er sich namentlich für das Feldstecherpatent nach Kräften bemüht hat. Über die Bedeutung I. Porros um das Ende der vierziger bis in den Anfang der sechziger Jahre sind ja keine Worte zu verlieren; denn seine Anregung zu den Fernrohren mit Prismenumkehrung hat gerade die Herstellung von Handfernrohren im allgemeinen und merklich später von Doppelfernrohren im besonderen auf eine völlig neue Grundlage gestellt.

Viel weniger bekannt scheinen aber seine Verdienste auf dem Gebiete der Strahlenbegrenzung zu sein, und es kann kein Zweifel daran bestehen, daß er sich in

---

[1]) Über Porros Instrumente für photogrammetrische Zwecke. *Phot. Corr.* **39.** *1902. Nr. 497* (v. Febr.) *S. 80/90*, 5 + s. a. *Der Mechaniker* **10.** *S. 61/64. 1902* (20. III.); *S. 73/66* (5. IV.), 5 +. Auch der Hinweis darauf in *The Brit. Journ. of Phot.* **49.** *S. 261. Nr. 2187. 1902* v. 4. IV.

seinem ersten Patent ebenbürtig erweist den später auf diesem Gebiete arbeitenden Engländern, von denen hier die Namen R. H. Bow, Th. Grubb, G. Shadbolt, Th. Sutton genannt zu werden verdienen; ja man muß hervorheben, daß er sogar den telezentrischen Strahlengang auf der Bildseite fast 30 Jahre vor der entsprechenden Arbeit E. Abbes[1]) kundgegeben hatte.

Daß seine Verdienste auf diesem Gebiete so lange im stillen blieben, ist nicht ganz so verwunderlich, als es zunächst den Anschein hat. Einmal war die beschränkte Öffentlichkeit der in dem französischen Sammelwerk erscheinenden Patentschriften von 1848 (und 1851) sowie von 1857 einer Verbreitung seiner Gedanken nicht eben förderlich, und ferner ließ sich seine Bildumkehrung durch Prismen erst zu einer Zeit in umfassender Weise verwerten, wo das geeignete Prismenkron bei der Jenaer Glashütte von Schott u. Gen. käuflich zu haben war.

So erlebten die Nachfahren, denen Porro nur dem Namen nach bekannt sein konnte, die Wirkung der Gedanken eines Mannes, der vor langen Jahren schon abgerufen worden war.

Hinzu kommt noch, daß I. Porro dem Leser seiner Patentschriften das Verständnis nicht allzu leicht macht. Und das wird bestimmt auch von dieser Übertragung ins Deutsche gelten. Trotzdem hat der Herausgeber der Versuchung widerstanden, dem Verständnis durch Zeichnungen oder Erklärungen zu Hilfe zu kommen: ein solche Größe wie I. Porro kann verlangen, daß seine Schriften in der Form auf die Nachwelt gebracht werden, die er selber für geeignet hielt. Auch ist es nicht sehr wahrscheinlich, daß der heutige Leser die Tragweite der Erfindungsgedanken ebenso weitreichend einschätzen möchte, wie der Erfinder. Als Beispiel kann man vielleicht auf den Nachtrag von 1851 hinweisen, der mit ganz großer Wahrscheinlichkeit auch das damals von I. Porro für photographische Zwecke zuerst erprobte Teleobjektiv aus einem sammelnden und einem zerstreuenden Bestandteil decken sollte.

Äußerlich ist der Text durch kleineren Druck hervorgehoben, und bei der Wiedergabe ist auf die Einrückung von Seitenzahlen und Spaltenzeichen [*r*] in den amtlichen französischen Texten, in dem englischen Text auf die Verschiedenheit der Überschriften und auch auf die Hervorhebung der Anfänge aller Zeilen, deren Ordnungszahlen durch 5 teilbar sind, acht gegeben worden, soweit sich dies bei der Übertragung mit ihrem abweichenden Satzbau erreichen ließ.

Die Anmerkungen stammen sämtlich von dem Übersetzer, und es ist zu hoffen, daß die Zusammenstellung der englischen und der französischen Fassung in der Beschreibung zum Prismenfeldstecherpatent, wie es diese bescheidene Arbeit versucht, auch Fachleuten in Patentsachen eine kleine Bequemlichkeit bieten möge.

Porro, [I.], Fehlerfreie[2]) Geräte *(Des instruments analattiques).*
Br. d'Inv. Nr. 4102 der 2. Reihe der veröffentlichten Patente,
Nr. 7280 der 2. Reihe der erteilten Patente
vom 24. III. ert. 13. V. 1848.

Descr. (2) ***14.*** *S. 318/321* (veröff. 1853).

Diese Geräte haben die Eigenschaft, zunächst die Mikrometermessungen von den Fehlern zu befreien, die entweder von der Änderung der Bildweite herrühren, wie in dem Fernrohr auf die

---

[1]) Über mikrometrische Messung mittelst optischer Bilder. Sitzungsber. Jen. Ges. f. Med. u. Naturw. S. 11—17 v. 8. II. 1878. Siehe auch Abbes Ges. Abh. ***1.*** S. 165/172.

[2]) Im Urtext *anallatique* von *ἀ[ν]* = un- und *ἀλλαττω* = verändere; im Deutschen gelegentlich, namentlich von Geodäten, mit *anallaktisch* übernommen. In die optische Fachsprache kaum übergegangen. Da hier die „Veränderungen“ für Porro immer Fehler sind, die seine neuen Geräte vermeiden sollen, so wurde im folgenden dafür unmittelbar *fehlerfrei* eingesetzt.

Abstandsänderung des Beobachtungsgegenstandes folgt, oder wie sie die auf die Änderung der deutlichen Sehweite von einem Beobachter zum andern zurückzuführen ist; ferner der Einheit der Mikrometerteilung einen nach einem gewissen gegebenen Gesetz veränderlichen Winkelwert zu erteilen, um verschiedene äußere Gründe zu Umrechnungen auszuschalten, die durch verschiedene Verwendungen nötig werden könnten. Als ein Beispiel sei die Umrechnung der Entfernungen auf eine horizontale Ebene bei Fernrohren mit irgendwelchen Mikrometern erwähnt, wenn sie für topographische, für Feldmessungen und beim Nivellieren verwandt werden.

Die Mikrometer an den optischen Geräten setzen im allgemeinen voraus, daß der Winkel, der außen am Gerät durch zwei nach dem optischen Mittelpunkt des Objektivs gezogene Hauptstrahlen gebildet wird, im Innern als eine dem Scheitel gegenüberliegende Basis eine für jedes Gerät unveränderliche Größe habe, entweder die Einheit der Mikrometerteilung oder einen unveränderlichen Winkel.

Diese Annahme ist höchstens für gewisse Himmelsfernrohre zulässig, denn dafür ist einmal der Beobachtungsgegenstand stets in einer gleichsam unendlichen Entfernung; sodann aber kann der Beobachter, der häufig allein das Fernrohr bedient, sich wohl darauf einlassen, ein für allemal das Okular nach seiner Sehweite ein- und daselbst festzustellen. Eine solche Annahme ist aber unzulässig, wenn es sich um Geräte handelt, die mehreren Beobachtern dienen und eine Beobachtung aus sehr verschiedenen Abständen ermöglichen sollen.

Das verhält sich in der Tat so bei astronomischen und geodätischen Fernrohren sowie auch bei den Mikroskopen. Diese haben eben etwa eine Anlage wie in Abb. 35 auf Tafel XLV, worin ein Achsenlängsschnitt dargestellt ist. Der Beobachter stellt das auf der Brennpunktsblende D angebrachte Mikrometer nach seiner deutlichen Sehweite scharf ein, indem er es längs der Achse zwischen den beiden in ungeändertem Abstande voneinander bleibenden Linsen C und E verschiebt. Alsdann stellt er das ganze [r] Gerät auf den Beobachtungsgegenstand ein, indem er mittels des Fernrohrauszuges den Abstand CO verändert.

Es leuchtet also bei einer bloßen Betrachtung der Abbildung ein, daß jede der beiden Einstellverschiebungen beträchtlich die Größe des Mikrometerwinkels $M' O M''$ verändert, wie er einer festen Größe $m' m''$ entspricht, die auf der Brennpunktsblende D die Einheit der Mikrometerteilung darstellen möge.

Eine der Ursachen dieser Fehler, soweit sie von der Sehweite des Beobachters abhängen, kann wohl weggeschafft werden, indem man ein Ramsdensches Okular benutzt, aber die andere bleibt immer bestehen. Das ist auch der Grund, warum die Mikrometer bis jetzt im allgemeinen als sehr zarte und außerhalb der Kuppel einer Sternwarte nur heikel zu behandelnde Vorrichtungen galten. Und ebendarum hat sich ihre Verwendung zur Abstandsmessung in der Topographie, bei Feldmessungen und beim Nivellieren, obwohl tausendmal und auf tausend Weisen vorgeschlagen, nicht in den allgemeinen Gebrauch einführen lassen; denn dafür läßt ihre Verwendung, so wertvoll sie sein mag, im Hinblick auf Genauigkeit und Einfachheit der Handhabung noch viel zu wünschen übrig.

In den gewöhnlichen Fernrohren muß die feste Größe $m' m''$, die auf der Brennpunktsblende die Einheit der Mikrometerteilung darstellt, durch die beiden unerläßlichen Einstellbewegungen am Fernrohr sozusagen in einem Teile des Winkelraums der Hauptstrahlen hin und her wandern, wo diese doch zur Fernrohrachse schief verlaufen; offenbar ist eben diese Schiefe die Ursache der soeben angezeigten Fehler.

Man muß nur die gewöhnliche Anlage der Fernrohre, womit wir uns beschäftigen, durch eine andere optische Verbindung ersetzen. Und sie muß so beschaffen sein, daß die fraglichen Hauptstrahlen zueinander und zur Fernrohrachse parallel sind, und zwar in der ganzen Ausdehnung ihres Verlaufs, in der die beiden Einstellbewegungen vor sich gehen; alsdann wird man die fraglichen Fehlerursachen verschwinden sehen.

Dies ist der erste Teil der Grundanlage, die wir mit dem Namen der fehlerfreien belegt haben.

Man erreicht dieses Ziel mit irgendwelchen von dem Optiker gelieferten Linsenverbindungen, wenn wir sie den sehr verschiedenartigen in der Praxis vorkommenden Aufgaben anpassen. Um

davon ein Bild zu geben, beziehen wir uns auf die folgende als auf ein Beispiel, und zwar genügt sie für Feldmeßgeräte vollkommen.

In dem Sonderfalle, daß Mikrometer zur Entfernungsmessung in topographischen, [319] Feldmeß- und Nivelliergeräten angebracht werden, muß der dingseitige Mikrometerwinkel seine Spitze in der Mitte des Meßgeräts haben, weil man die zu messenden Abstände von diesem Punkte aus rechnet.

Es sei also in Abb. 36 ein astronomisches Fernrohr mit vier Linsen derart, daß

O das Objektiv,

R das Zusatzglas [réfracteur] [1]),

C die Feldlinse,

E die Augenlinse und

D die Brennpunktsblende bedeute; ferner entspreche bei der Rohrlänge *EO* der Punkt *O'* nach der Zusammensetzung der Mitte des Gerätes und schließlich gehöre der Winkel *M' O' M''*

Tafel XLV.

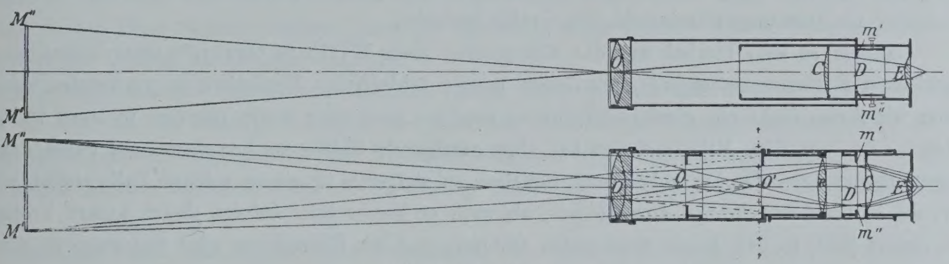


Abb. 35 und Abb. 36.

zu der Einheit der Mikrometerteilung, deren Ausdehnung ein Bildfeld durch die Strecke *m' m''* in der Blendenebene *D* vertreten sei.

Stellen wir uns zwei von den Punkten *M'*, *M''* des Beobachtungsgegenstandes ausgehende Strahlenbündel vor mit den Hauptstrahlen oder Achsen *M' O'*, *M'' O'* und folgen wir ihrem Weg durch das Fernrohr.

Es leuchtet zunächst ein, daß diese Hauptstrahlen eine Brechung erleiden, da sie ja das Objektiv außerhalb seines optischen Mittelpunktes durchsetzen, und die Achse in einem Punkt *Q* zwischen *O* und *O'* schneiden; folgt man ihnen von da aus weiter, so erleiden sie in der Linse *R* eine zweite Brechung, tragen das Ihre zu dem Bilde in der Blendenebene *D* bei und durchsetzen die beiden Linsen *C*, *E*, um am Auge des Beobachters anzulangen.

Um ein solches Fernrohr mit Rücksicht auf die Verstellungen fehlerfrei zu machen, sollte man die Linsen so in die Rohre fassen, daß die Abstände *RO*, *CE* unveränderlich sind; die Stärke und den Ort der Linse *R* wird man so wählen, daß ihr Brennpunkt gerade mit *Q* zusammenfällt, auch sollte man dort eine Blende von passender Größe anbringen, um die kreisförmige Öffnung aller Bündel mit *Q* selbst als Mittelpunkt dort zu begrenzen ohne Rücksicht auf den Teil der Objektivöffnung, den sie durchsetzen, und ohne Rücksicht auf ihre Neigung gegen die Fernrohrachse, immer natürlich in den durch die Ausdehnung der Mikrometerteilung gegebenen Grenzen; ein Auszug erlaubt, den Abstand zwischen der Blende *D* und dem Okular *CE* zur Einstellung auf die Sehweite des Beobachters zu verändern, und ein anderer Auszug, der den ersten mitnimmt, gibt diesen beiden Stücken eine Bewegung im Hinblick auf die Objektivlinsen *R*, *O*, um das Fernrohr auf die Beobachtungsgegenstände ohne Rücksicht auf ihre Entfernung von dem Instrument einzustellen [*r*].

Man sieht jetzt leicht ein, daß sich die Achsen aller Strahlenbündel, wie sie von allen Punkten des Beobachtungsgegenstandes auf die Mitte *O'* des Gerätes gerichtet ausgehen, sämtlich nach dem Durchgang durch das Objektiv in *Q* schneiden und, da ja der Brennpunkt des Zusatzglases *R* eben dort liegt, nach dem Durchtritt durch dieses Glas zueinander parallel werden, solange sie sich in dem Raume *RC* befinden, der zwischen den Objektivteilen und dem Okular liegt und gleichzeitig der Raum ist, auf den die Auszüge wirken.

[1]) In der Geodäsie als *anallaktische Linse* bekannt.

Wenn also irgendeine fest gegebene Länge $m' m''$ in der Brennpunktsebene beim Blick durch das Fernrohr einen dingseitigen Winkel $M' O' M''$ mit seiner Spitze in $0'$, also im Drehpunkte des Fernrohrs, bestimmt, so wird die Größe dieses Winkels in keiner Weise verändert durch die Änderungen der Länge des Fernrohrs, sei es, daß sie nötig werden durch die Bildweite naher oder ferner Beobachtungsgegenstände oder durch die Sehweite etwa eines kurz- oder alterssichtigen Beobachters.

Die gleiche Wirkung ließe sich durch eine Verbindung von nur drei Linsen erzielen, aber die Fehler dieser Anlage wären größer oder das Gesichtfeld fiele kleiner aus. Hält man sich an das vierlinsige astronomische Fernrohr, wie soeben beschrieben, so verfügt man in den optischen Gleichungen zwischen den Einzelteilen der Anlage über Veränderliche genug, um alle wünschenswerten Forderungen für Gesichtsfeld, Vergrößerung und Helligkeit zu erfüllen, und kann dabei mindestens ebenso gut wie in den besten der bekannten Fernrohre die sphärischen und die Farbenfehler heben und außerdem noch eine für optische Geräte ganz neue Bedingung einführen: man verlangt nämlich, daß gleichen Stücken auf einer geradlinigen Mikrometerteilung in der Blendenebene auf der Dingseite gleiche Winkel entsprechen, deren Basen in dem Betrachtungsgegenstand liegen, während sich ihre Spitze im Drehungsmittelpunkt des Geräts befindet.

Handelt es sich hierbei um das Mikrometer nach William Green[1]) oder besser um den italienischen Entfernungsmesser[2]), an denen unsere fehlerfreien Fernrohre zu verwenden seien, so passen wir ihnen nicht ein einziges Okular — sondern zwei oder mehr, nämlich je eines vor jedem Faden — an, um dem Mikrometerwinkel eine genügende Größe zu bewahren und dabei das Vergrößerungsvermögen des Fernrohrs nach Belieben zu steigern; in einem solchen Falle stellen wir das Fernrohr in beträchtlicherem Ausmaß her, als man es bisher tat. Infolge dieser Anlage beobachtet man immer [320] in der Achse eines jeden Okulars, und die Einstellung wird viel sicherer, weil die so erhaltene Schärfe größer ist.

Will man nunmehr jeden äußeren Anlaß zu Verbesserungen, wenn nur ihr Gesetz bestimmt ist, entfernen — und solches wird bei den verschiedenen Anwendungen des Mikrometers im Tagesgebrauch vorkommen —, so muß man nur den soeben erreichten parallelen Verlauf der Hauptstrahlen wieder zu einem schiefen machen, nämlich zu einer Konvergenz oder einer Divergenz, deren Grad sich vor dem Zustandekommen des Bildes in der Brennpunktsebene nach dem gegebenen Gesetz verändern läßt.

Hierin besteht eben der zweite Teil unserer Erfindung, und zwar werden danach unsere Meßfernrohre fehlerfrei in bezug auf die äußeren Anlässe zur Verbesserung je nach der Besonderheit ihrer jeweiligen Anwendung.

Als Ausführungsbeispiel wollen wir hier das folgende geben, eine der wichtigsten der bei der Anwendung vorkommenden Möglichkeiten.

Bei der Kartierung erhält man durch Mikrometermessungen sehr genaue Abstände, wenn das dafür verwandte Fernrohr fehlerfrei in bezug auf die Auszugsänderungen gemacht worden ist. Aber die so durch Beobachtung erhaltenen Abstände müssen noch auf die Horizontalebene bezogen werden, d. h. sie sind noch zu verbessern, und zwar nach dem Quadrat des Kosinus des Neigungswinkels, den das Fernrohr im Augenblick der Beobachtung hatte.

Man muß also den Neigungswinkel an dem Gerät selbst mit Hilfe eines senkrechten Teilkreises beobachten, die Ablesung muß für jede Messung niedergeschrieben werden, und der Landmesser muß schließlich immer noch eine, allerdings einfache, Rechnung ausführen, die ihm aber nichtsdestoweniger von seiner Zeit nimmt, die doch namentlich bei der Vermessungsarbeit einen hohen Wert hat.

Macht man die Fernrohre aber auch fehlerfrei in bezug auf die Neigungen gegen die Horizontalebene, so verdienen solche Geräte den Vorzug sowohl wegen ihrer großen Arbeitsgeschwindig-

---

[1]) Ein (s. A. König, Die Fernrohre und Entfernungsmesser. Berlin: Julius Springer 1923) (145 β) meist als Reichenbachscher Distanzmesser bezeichnetes Gerät, dessen einfachste Form zuerst — 1771 — von J. Watt angegeben wurde.

[2]) Ebenfalls nach A. König (143 ε) hat man an einen Vorschlag von G. Montanari um 1674 zu denken.

keit, als auch wegen der daraus folgenden Verringerung der Möglichkeit, wesentliche Fehler zu begehen.

Eine für sich bewegliche Linse wird mit dem Körper des Fernrohres durch eine Triebstange derart verbunden, daß sie eine zweckmäßige Verschiebung in dem Augenblick erhält, wo das Fernrohr geneigt wird. Bringt man eine derartige Linse zwischen [die letzte Objektivlinse] *R* und die Brennpunktsblende *D*, so eignet sie sich offenbar dafür, diese Wirkung hervorzubringen, nämlich dem der Einheit der Mikrometerteilung entsprechenden Winkelwert eine Veränderung beizulegen, die genau und sozusagen [*r*] dem Beobachter unbewußt den auf die Neigung des Fernrohrs zur Horizontalebene zurückgehenden Fehler verbessert.

In gewissen Fällen, wo die zur Fehlerbefreiung führende Berichtigung keine großen Beträge hat und wo ferner die Art der Beobachtungen nicht die Verwendung je eines Okulars vor jedem Faden fordert, braucht man nicht wie in dem vorhergehenden Falle eine neue Linse in die Verbindung zu bringen; vielmehr läßt man in dem anders zusammengesetzten vierlinsigen Fernrohr der Abb. 36 das Bild und natürlich auch die Brennebenenblende ihren Platz zwischen der dritten und der vierten Linse finden; alsdann kann die dritte Linse die Fehlerbefreiung besorgen, ohne daß ein merklicher Verlust an Bildgüte entsteht.

Für Fernrohre mit einem terrestrischen Okular wird die von den Fehlern befreiende Linse, soweit es sich um die Auszüge handelt, wie beim astronomischen Fernrohr zwischen Objektiv und Zwischenbild gebracht und gehört zum Objektiv; dagegen wird die Fehlerbefreiung in bezug auf irgendwelche äußere Ursachen durch die Bewegung des ersten Linsenpaares im terrestrischen Okular erreicht.

Natürlich muß man unter allen Umständen die Linsenkrümmungen und -brennweiten der ganzen Verbindung so bestimmen, daß auch sonst die Bedingungen für ein gutes Fernrohr nicht unerfüllt bleiben, und das geschieht nach bekannten Formeln.

Wir wollen schließlich noch hervorheben, daß sich das Vergrößerungsvermögen der Winkelwerte der gewöhnlichen Fernrohre in demselben Maße uud aus demselben Grunde ändert wie der Winkelwert der Mikrometerteilung, die gerade vorliegt oder die man als vorliegend voraussetzt; somit ist dieser Winkelwert in unsern fehlerfreien Fernrohren nach Belieben entweder stets der gleiche oder nach einem bestimmten Gesetz veränderlich. Genau ebenso verhält es sich mit dem Vergrößerungsvermögen, und das führt zu einer neuen Eigenschaft der von uns erfundenen Fernrohre, die in vielen Fällen nützlich sein kann.

Abb. 35. Ein gewöhnliches astronomisches Fernrohr mit einem Mikrometer und einem negativen Okular nach Campani[1]).

O, Objektiv.
C, Feldlinse (Kollektivglas).
D, Brennpunktsblende.
E, Augenlinse.
M', *M''*, Latte oder Beobachtungsgegenstand.
m', *m''*, Bilder der Punkte *M'*, *M''* in der Brennpunktsblende.

Abb. 36. Ein in bezug auf die Betätigung der Auszüge fehlerfreies Fernrohr.

O, Objektiv [321].
R, Zusatzglas.
Sie bilden zusammen die Objektivverbindung.
D, Brennpunktsblende.
C, Feldlinse (Kollektivglas).
E, Augenlinse.
Sie bilden zusammen die Okularverbindung.
M', *M''*, Latte oder Beobachtungsgegenstand.
m', *m''*, Bilder der Punkte *M'*, *M''* in der Brennpunktsblende.

---

[1]) Die nähere Geschichte dieser Bezeichnung ist noch nicht bekannt; diese Form des Okulars wird heutzutage nach Huygens benannt.

1a. Zusatzpatent vom 30. Juli 1851.

Ich habe soeben gefunden, daß die optischen Gleichungen für die Bedingungen der Fehlerbefreiung von Verbindungen aus drei, vier oder mehr Linsen verbunden mit denen für die beiden Abweichungen geltenden leicht auf die Lösung aller optischen Aufgaben auf dem Gebiete der Aufnahmelinse [1]) führen. Deren Theorie ist bisher nicht aufgestellt oder zum mindesten nicht veröffentlicht [2]) worden, indessen führt die Art der Berechnung, die übrigens die vollständige Theorie der Aufnahmelinse darstellt, auf Linsen von einem beträchtlichen Durchmesser, die schwierig und kostspielig in der Herstellung sind.

Der Doktor Blair [3]) hat schon bei Himmelsfernrohren die Verwendung flüssiger Mittel vorgeschlagen, doch lassen die Stellung und die Bewegungen dieser Geräte eine solche Verwendung nicht vorteilhaft zu. Demgegenüber befindet sich die Aufnahmelinse stets unter günstigen Bedingungen dafür, nur hat mir eine besondere Untersuchung der zu verwendenden Flüssigkeiten gefehlt, die man mit den verschiedenen Glasarten zu paaren hat, mit denen sie je nach den zu erstrebenden Zwecken vereinigt werden müssen.

Die Fehlerfreiheit, bezogen auf optische Geräte, erlaubt, wie in der diesem Patent angehängten Beschreibung gezeigt worden ist:

1. Die Bildgröße unveränderlich zu halten, die einer gegebenen Winkelgröße des Aufnahmegegenstandes entspricht, wie sich auch seine Entfernung ändere.

2. Die scheinbare Größe, sei es in linearem Maß, sei es im Winkelwert, nach einem gegebenen Gesetz zu ändern.

3. In der genannten Beschreibung ist auch gezeigt worden, daß die Fehlerfreiheit ganz gleichmäßig auf optische Vorkehrungen angewandt werden kann, in denen wie in den Erdfernrohren [Zwischen-]Bilder entstehen; die Gläser zwischen dem Betrachtungsgegenstand und dem ersten Zwischen-]Bilde sind zur [*r*] Erreichnung der ständigen Fehlerfreiheit verfügbar, während die veränderliche Beziehung durch die Linsen zwischen den beiden [Zwischen-]Bildern erreicht wird.

Wendet man diese grundlegenden Sätze auf die Aufnahmelinse an, so kommt man sichtlich zu den nachstehenden Folgerungen:

1. Durch eine fehlerfrei machende Linse von passenden Krümmungen zwischen Objektiv und Platte kann man die an verschiedene Stellen der Mattscheibe fallenden Bilder zweier Aufnahmegegenstände von gleichem Abstande vom Aufnahmegerät einander gleich machen und zur selben Zeit die Bildfläche bis zum äußersten Rande ebnen.

Diese Linse, deren Krümmungen in jedem Falle besonders berechnet werden müssen, muß auf die Hauptstrahlen als ein Sammelglas, auf die abbildenden Bündel als ein Zerstreuungsglas wirken. Die Stärke und damit die Krümmungen sind so zu bestimmen, daß die Wirkung auf jedes abbildende Bündel von der Mitte nach dem Rande etwa mit der Sekante der Neigungsschiefe gegen die Achse zunimmt.

Diese Befreiung von Fehlern, die in der dargelegten Weise auf die verschiedenen Punkte der Brennebene wirkt, beseitigt die Verzeichnung und Verbildung [4]), die man an den gebräuchlichen Aufnahmelinsen tadelt, und erhöht die Schärfe in der Brennebene; sie kann auch die Schiefe des Auffalls vermindern, ja sogar bis zum Plattenrande ein strenge senkrechtes Auftreffen herbeiführen. In dem letzten Falle geht die Anlage der Vorrichtung, abgesehen von den hier anders ausfallenden

---

[1]) Im Text *daguerréotype.* Porro wendet diese wohl ihm gebührende Bildung meist an Stelle des unschönen, aber damals wohl schon allgemein üblichen Ausdruckes „photographisches Objektiv" (siehe *diese Zeitschr.* **45.** *S. 449 Anm. 1925*) an. *Objectif* ist ihm gelegentlich = Zielpunkt, Beobachtungsgegenstand.

[2]) Doch wohl eine Anspielung auf J. Petzval, von dem zur Zeit des Zusatzpatents auf diesem Gebiete nur die ganz theoretische Arbeit von 1843 vorlag.

[3]) Ein schottischer Wundarzt, als Astronom 1828 zu Edinburg gestorben, hat 1791 Versuche veröffentlicht,. das sekundäre Spektrum an Fernrohrobjektiven durch Flüssigkeitslinsen strenge zu heben. Ein praktischer Erfolg ist damit nicht erreicht worden.

[4]) Im Text *distorsions et déformations,* wobei es unklar bleibt, was mit dem letzten Ausdruck gemeint ist.

Außenkrümmungen, für den Sonderfall von Landschaftsaufnahmen in die Darstellung der Abb. 36 über, nur muß man sich durchaus das Okular wegdenken.

2. Die Schwankungsbreite in bezug auf Bewegungen längs der Achse erlaubt es, den von Meßfehlern freien Punkt für den Bildraum zu verschieben und ferner zu legen, indem man ihn von dem des Dingraums um eine große Strecke trennt. Daraus aber folgt offenbar die Möglichkeit, namentlich für Anlagen mit zwei Bildern, eine Aufnahmelinse zu erzielen, um in sehr weiten Grenzen nach Belieben das Größenverhältnis zwischen Ding und Bild zu ändern. Das ist für den Photographen sehr nützlich, zumal für Bildwerke, die aus großer Entfernung und doch nicht in gar zu kleinem Maßstabe aufgenommen werden können.

Die Wiedergabe des zweiten und heute besonders wichtigen Porroschen Patents ist darum von einer besonderen Schwierigkeit, weil dessen ursprüngliche, französisch abgefaßte Beschreibung amtlich nicht veröffentlicht worden ist. Mir ist sie durch eine Abschrift aus den Pariser Akten bekannt, die die Zeissische Patentabteilung hat anfertigen lassen.

Es handelt sich um das Br. d'Inv. 21192 v. 10. XII. 54 (einger. 24. X. 54) an Ignaz Peter Paul Porro für Verbesserungen an optischen und astronomischen Instrumenten (*Pour perfectionnements aux instruments d'optique et d'astronomie*).

Da sein Hauptteil offenbar wörtlich der endgültigen Beschreibung des allein amtlich veröffentlichten englischen Patents zugrunde gelegen hat, so habe ich mich der Kürze wegen nicht zu einer vollständigen Wiedergabe des französischen Textes entschlossen, sondern ihn nur zur Ergänzung des gesicherten englischen Textes verwandt; solche Zusätze sind durch Einrückung in [[ ]] gekennzeichnet. Die erste längere Einschaltung betrifft die zusammenfassende Einleitung der französischen Patentschrift, die ich auf die vorläufige Beschreibung im englischen Patent habe folgen lassen.

Was dieses angeht, so scheint der Text der vorläufigen und der endgültigen Beschreibung nicht [oder nicht ganz] von derselben Hand zu stammen. Sinnstörende Druckfehler habe ich, z. T. durch den französischen Wortlaut in [[ ]] gesichert, richtiggestellt. Zusätze und Erklärungen sind im französischen Text ziemlich zahlreich; bei dem englischen Text habe ich nur in [6] 30/1 einen Zusatz bemerkt.

2. Ignaz Porro, Gewisse Anwendungen von totaler oder gewöhnlicher Reflexion des Lichts an durchsichtigen Flächen, allein oder in Verbindung mit Brechung. Den englischen Titel s. Czapski-Eppenstein unter (2.)

E. P. 2377/54; prov. spec. vom 9. XI. 54; [compl.] spec. vom 9. V. 55.

Vorläufige Beschreibung von dem genannten Ignaz Porro dem Patentamt mit seiner Eingabe am 9. Nov. 1854 überreicht.

Ich, Ignaz Porro, aus Paris und aus London, 4 South Street, Finsbury, | Oberst a. D. in den kgl. sardin. Genietruppen, Leiter des Optischen und Technomatischen Instituts zu Paris, erkläre hiermit das Wesen meiner Erfindung „Gewisse Anwendungen von totaler oder gewöhnlicher Reflexion des Lichts an durchsichtigen Flächen, allein oder in Verbindung mit Brechung“ als das folgende:

Als eine Anwendung des ersten Teils meiner Erfindung zur Bildumkehrung verwende ich ein Stück Glas aus einem Teile oder aus mehreren, von verschiedenen Ebenen und polierten Flächen begrenzt, wobei das Licht ein- und austritt durch ebene und parallele Flächen unter gleichen Winkeln; während seines inneren Laufes wird es vier totalen Reflexionen unterworfen, die [2] je miteinander rechte Winkel bilden. Die durch ein solches Glas gesehenen Bilder sind umgekehrt, stehen auf dem Kopf und sind farbenfrei.

Es reicht daher aus, zwischen das Auge und das Objektiv eines astronomischen Fernrohrs ein wie hier beschriebenes Glasstück zu bringen, | um ein Erdfernrohr mit Bildaufrichtung zu erhalten.

Als Anwendung meiner Erfindung auf die Vergrößerung von Betrachtungsgegenständen erhalte ich eine vollkommen farbenfreie und sehr lichtstarke [Verbindung], wenn ich drei Prismen in der folgenden Reihenfolge verbinde: — Das erste ist ein achromatisches Prisma mit einer schwach ge-

krümmten [Vorder-] Fläche, es ist rechtwinklig [-gleichschenklig] und hat die ebene Kathete in horizontaler Lage, während die | Hypotenuse eine totale Reflexion herbeiführt. Das zweite Prisma ist ein einfaches rechtwinklig [-gleichschenklig]es Spiegelprisma [*reversing prism*]; es wird unter dem ersten in einer verschieden zu wählenden Entfernung angebracht und wird verschieden ausgerichtet, je nach der Notwendigkeit, aufrechte oder umgekehrte Bilder zu erhalten. Es wird von dem Licht nur nach seinem Durchtritt durch das erste Prisma erreicht und sendet es nach der Umkehrung, die aus | den beiden totalen Reflexionen folgt, in das dritte Prisma. Das dritte Prisma ist dem ersten ähnlich, ist aber viel stärker gekrümmt; es liegt in gleicher Höhe, aber in umgekehrter Lage neben diesem. Bringt man das Auge hinter eine solche Anlage, so erscheinen die betrachteten Gegenstände genau wie bei guten Fernrohren in weiter Entfernung vergrößert und entweder umgekehrt oder aufrecht, je nach der Ausrichtung des zweiten Prismas. | Das Gesichtsfeld (*compass*) kann durch Hinzufügung einer kleinen Linse vergrößert werden. Verwende ich statt dreier Prismen ihrer vier, sämtlich achromatisch, und stelle sie so, daß sie paarweise und zueinander symmetrisch auf das Licht wirken, so erhalte ich ein doppeltes Theaterglas von sehr kleinen Ausmaßen, aber doch großem Gesichtsfelde, und das wächst ebenso wie das Vergrößerungsvermögen, wenn man noch zwei kleine Linsen hinzufügt. Als eine Anwendung | auf die Erzielung von Richtung und Kollimation benutze ich ein einfaches trapezförmiges Prisma mit drei polierten Flächen. Bringt man sein Auge in die Erweiterung der größten Fläche dieses Prismas, so erscheinen ihm ferne Gegenstände der andern [Ding-] Seite ebenfalls in dieser erweiterten Fläche, aber als spiegelverkehrte Bilder. Die für das freie und das spiegelverkehrte Sehen gemeinsamen Dingpunkte sind offensichtlich | die genau in der Erweiterung der spiegelnden Ebene liegenden Punkte. Diese Eigentümlichkeit habe ich für alle Instrumente zur Landmessung und zum Nivellieren verwandt, indem ich deren Absehen in dieser Weise herstellte und auch für die kleinen Linsen [Richtfernrohre?] mancher Instrumente.

Als eine weitere Anwendung des ersten Teils meiner Erfindung | verwende ich das gleiche trapezförmige Prisma für die Zerlegung von Bewegungen. Als eine Anwendung des ersten Teils meiner Erfindung zum Ruhigstellen oder um zwei Bilder aufeinander zu entwerfen, habe ich auf der Grundlage der soeben beschriebenen Gedanken eine kleine Vorkehrung hergestellt; sie besteht aus einem gläsernen Parallelepiped mit zwei Außenflächen in gehöriger Ausführung und hat die Eigenschaft, für den [3] hindurchschauenden Beobachter mit Hilfe von zwei Ablenkungen um 90° die Bilder von Gegenständen in seinem Rücken auf die Gegenstände vor ihm zu entwerfen, derart, daß alle Deckungen zwischen Gegenstandspunkten zustande kommen, deren Verbindungsgeraden je durch das Auge des Beobachters hindurchgehen.

Durch die Verbindung zweier Pentagonprismen [1]), die durch zwei in schiefer Richtung erfolgende Totalreflexionen eine halbe Umkehrung zustande bringen, derart, daß ihre spiegelnden Flächen nach derselben Seite gerichtet sind, erhalte ich ein Gerät, womit ich mikrometrisch mit einer einzigen Beobachtung und ohne die Größe der Beobachtungsgegenstände zu kennen, eine beliebige unzugängliche Entfernung messe.

Als Beispiel für die Anwendung des zweiten Teiles meiner Erfindung, worin verschiedene Lichtbewegungen dazu dienen, die gegenseitige Lage von verschiedenen Gegenständen und den Abstand von festen Linien zu ermitteln, die durch Verbindungen von künstlichem Licht und unvollständiger Spiegelung an durchsichtigen Flächen zustande kommen, verwende ich ein sehr dünnes und spitzes kleines trapezförmiges Prisma zur Einführung | künstlichen Lichts in das Mikrometer von der Seite. Dies hat die Wirkung, daß entlang der Achse einige Bilder des leuchtenden Mikrometers erscheinen, zwischen denen sich die Bilder ganz deutlich darstellen.

Eine durchsichtige Glasplatte und in manchen Fällen ein fester ebener Spiegel dienen in Verbindung mit der oben beschriebenen Anlage dazu, die Lage der | Sehrichtung zu einer festen Geraden zu bestimmen. Die Objektive erhalten je nach den Bedürfnissen im einzelnen Falle verschiedene Krümmungsstärken.

---

[1]) Er meint hier offenbar ein Prisma, wie es Wollaston für die *camera lucida* vorgeschlagen hat, aber mit abgestumpfter Kante zwischen Ein- und Austrittsfläche.

[[Beschreibung für die Patentanmeldung auf neue Anwendungen der totalen oder partiellen Reflexion an durchsichtigen Flächen von Prismen, Linsen und Flüssigkeiten, gelegentlich mit Brechung verbunden, um verschiedene neue Wirkungen zu erzielen, sowohl mit dem natürlichen Licht von den Betrachtungsgegenständen, als auch mit Hinzufügung von künstlichem Licht, um verschiedene neue wichtige Wirkungen namentlich in den Präzisionsinstrumenten zu erzielen.

Meine Erfindung mit ihren zahlreichen und verschiedenartigen Anwendungen zerfällt im wesentlichen in zwei Teile: Der erste umfaßt die Zusammenstellungen, wo das natürliche von den Gegenständen ausgehende Licht meine neuen optischen Vorkehrungen durchsetzt, um ins Auge zu gelangen; der zweite umfaßt die Vorkehrungen, wo gleichzeitig künstliches Licht neben der an durchsichtigen Flächen auftretenden schwachen Spiegelung verwandt wird.

Von den Verbindungen der ersten Art erhalte ich als Wirkungen solche der Bildumkehrung und der Vergrößerungen (Fernrohrwirkungen), solche der Richtung und der Kollimation, wie sie durch Absehen erreicht werden; solche scheinbarer Zerlegung mechanischer Bewegungen und schließlich solche der Ruhigstellung bestimmter Bilder auf andern wie bei Geräten für die Verwendung an Bord und bei gewissen Mikrometern.

Von den Verbindungen der zweiten Art erhalte ich als Wirkung ein Spiel künstlichen gespiegelten Lichts, mittels dessen ich mit großer Strenge durch optische von der Ausrichtung der Mittel unabhängige Erscheinungen eine Lagenbestimmung gewisser wichtiger Teile in besonders verfeinerten Meßgeräten herbeiführen kann, sei es untereinander, sei es gegen die Schwererichtung oder gegen gegebene Geraden.

Die Mittel dafür sind wie anfangs angegeben 1. neue Verbindungen der Brechung mit der Spiegelung an durchsichtigen Flächen, 2. die schwache Spiegelung an den verschiedenen Flächen der achromatischen Objektive und der durchsichtigen Flüssigkeiten, die ich in meinen Geräten für genaue Messungen zu verwenden gelernt habe. Die brauchbaren Verbindungen dieser Möglichkeiten bilden ein völlig neues Ganze, das unter verschiedenen Formen bei den äußerst wechselreichen Anwendungen auf verschiedene Instrumente der Astronomie, Geodäsie, Feldmessung, Nivellierung auftritt. Ich will versuchen, mit Hilfe von Beispielen dieses Ganze zu kennzeichnen.]].

Beschreibung nach den für ein Patent bestehenden Bedingungen bei dem Patentamt von dem genannten Ignaz Porro | am 9. Mai 1855 eingereicht[1]).

Meine Erfindung besteht zunächst in gewissen neuen Verbindungen von Spiegelung und Brechung des Lichts an durchsichtigen Flächen; ferner in der Verwendung von unvollständiger Spiegelung des Lichts an den Flächen achromatischer Objektive und durchsichtigen Flüssigkeiten, die ich bei | astronomischen, Meß- und andern Instrumenten zum Zwecke genauer Messung verwende.

[[Erster Teil.]]

Die Umkehrung und Vergrößerung entfernter Gegenstände.

Erstes Beispiel. Die Wirkung der Umkehrung von Bildern (Gegenständen).

Ich wende dafür ein Glasstück aus einem einzigen Stück oder aus ihrer mehreren an; es hat mehrere ebene, polierte Flächen, die das Licht ein- und | austretend an zwei ebenen Flächen und unter gleichem Winkel durchsetzt; dieses erleidet bei seinem Wege im Glase vier totale Reflexionen jeweils unter rechtem Winkel. Betrachtet man Gegenstände durch solch ein Glas, so erscheinen sie auf dem Kopfe stehend und frei von Farben. Es genügt also, zwischen Okular und Objektiv eines astronomischen Fernrohrs ein Glasstück dieser Anlage zu bringen, wenn man dies | Gerät in ein gewöhnliches Erdfernrohr mit wiederaufgerichteten Bildern verwandeln will. Die äußere Form meines Aufrichteglases ist etwas verwickelt, ist aber frei von den Unzuträglichkeiten der bis jetzt dafür üblichen Mittel. Dies Verfahren erlaubt eine große Lichtstärke, weil das Licht durch das Glas in senkrechter Richtung [2]) tritt; es hat außerdem den Vorteil, die Länge des Fernrohrs zu verkürzen,

---

[1]) Die altertümlichen juristischen Formeln ohne optischen Inhalt von [3] 26 bis [4] 15 wurden hier unterdrückt.

[2]) Das französische *la lumière traverse la verre normalement* ist im Englischen offenbar mißverständlich geworden zu: *the light passes through the glass in the usual position.*

[[während die andern bekannten Mittel zur Bildaufrichtung eine größere oder geringere Verlängerung hervorbringen. Die neue Verbindung ist berufen, auf See namentlich wichtige Dienste zu leisten]].

Zweites Beispiel. Vergrößerungswirkungen.

Amicis Verbindung von vier oder acht Prismen vergrößert ferne Sehdinge zwei oder viermal; aber diese Verbindung ist unvollkommen achromatisch und mangelhaft in Hinsicht auf die [5] Helligkeit. Ich erhalte ein beliebiges Vergrößerungsvermögen mit vollkommener Achromasie und einer Helligkeit von hohem Grade, wenn ich drei Prismen [1]) in der folgenden Reihenfolge verbinde: Das erste ist ein achromatisches rechtwinklig [-gleichschenklig]es Prisma mit einer schwach gekrümmten Grenzfläche. Seine Kathetenfläche [2]) liegt wagrecht, seine Hypotenusen-[fläche] wirkt total | reflektierend. Das zweite ist ein einfaches rechtwinklig [-gleichschenklig]es Spiegelprisma und liegt unter dem ersten in einem veränderlichen Abstande. Es wird auf eine verschiedene Weise ausgerichtet, je nachdem man ein aufrechtes oder ein umgekehrtes Bild verlangt. Es erhält das Licht von den Sehdingen allein nach seinem Durchtritt durch das erste Prisma und gibt es an das dritte mit der Richtungsänderung weiter, die auf die doppelte totale Reflexion folgt. Das | dritte Prisma ist dem ersten ähnlich; es hat eine stärker gekrümmte Grenzfläche und steht in gleicher Höhe mit ihm, aber in umgekehrter Richtung. Bringt man das Auge an diese Verbindung, so erscheinen ferne Sehdinge vergrößert und, je nach der Stellung des Spiegelprismas, umgekehrt oder aufrecht wie in einem guten Fernrohr; das Gesichtsfeld läßt sich durch eine kleine Zusatzlinse vergrößern.

Die Länge des Gerätes, d. h. in der Gesichtslinie, für eine Vergrößerung vom 10- bis 15fachen, geht über 3 cm nicht hinaus, während seine Höhenausdehnung etwa 10 cm beträgt und also bequem in der Hand liegt. [[Daher nenne ich dieses Gerät ein Fernröhrchen — *lorgnon* — *longue-vue* —. Durch eine Mischform mit der vorher erörterten Möglichkeit kann ich ihm in senkrechter Richtung eine beliebige Länge nach oben geben, so daß man über irgendwelche Hindernisse, etwa Umwallungen usw., hinweg beobachten kann, eine solche Verbindung nenne ich ein Polemoskop.]]

Verwende ich vier anstatt drei Prismen, so erhalte ich ein Doppelglas [3]); die | vier Prismen sind achromatisch und so ausgerichtet, daß sie paarweise in symmetrischer Stellung [4]) auf das Licht wirken. Dieses Doppelglas ist in seinen Ausmaßen klein und hat ein großes Gesichtsfeld. Tatsächlich erhalte ich so ein Doppelfernrohr, das wie im vorigen Falle kaum länger ist als 3 cm [5]). Auch hier sollten eine oder zwei kleine Linsen hinzugefügt werden, um das Gesichtsfeld und das | Vergrößerungsvermögen zu vergrößern.

Drittes Beispiel. Wirkung auf Richtung oder Kollimation. Ein Ersatz für ein Absehen.

Diese Wirkungen sind wie die sie hervorrufende Vorkehrung ungemein einfach. Ein einfaches trapezförmiges Prisma mit drei polierten Flächen zeigt einem Auge | in der Erweiterung der größten Fläche entfernte Sehdinge hinter dem Prisma in derselben Erweiterung, aber spiegelverkehrt. Die Dingpunkte, die im aufrechten und im spiegelverkehrten Bilde zusammenfallen [6]), sind offenbar die Punkte, die genau in der Erweiterung der Spiegelebene liegen. Ich habe diese Eigenschaft allgemein auf meine topographischen | Landmessungs- und Nivellierinstrumente angewandt und damit das gewöhnliche Absehen und die kleinen Fernrohre [7]) an gewissen Geräten ersetzt. Diese neue Form des Absehens erlaubt genau die Richtung auf eine nicht sichtbare Mitte [6] eines Turmes oder irgendeines Gegenstandes mit erkennbaren Umrissen [[oder auf die Mitte eines leeren Raumes]] zu finden. Es erlaubt auch einen Winkel mit einer einzigen Einstellung zu halbieren [8]). Hängt

---

1) Es handelt sich hier um die schon von S. Czapski als *zweite* beschriebene Form des Porroschen Umkehrsystems. S. etwa Czapski-Eppenstein, 3. Aufl. S. 591 Bild 278, wo das mittlere Prisma der Beschreibung in zwei Halbprismen zerlegt ist.

2) Im Englischen *Its plane axis* . . . statt des französischen *son cathète plan* . . .

3) Im Englischen hier unverständlich *a double glass case;* im Französischen *une jumelle.*

4) *in reciprocal order.*

5) Im Englischen *one of each in length* verdruckt für *one inch in length.*

6) Im Englischen wohl weniger deutlich *open to the direct and inverse vision.*

7) Im Französischen *petites lentilles.*

8) Im Englischen ist hier der Punkt unrichtig gesetzt.

man es an einem Faden so auf, daß es sich in wagrechter Lage befindet, so wird ein solches Prisma zu einer einfachen und bequemen Wasserwage für die Tasche. Zwei solche Prismen übers Kreuz n einem kleinen | Zylinder von 20 bis 25 Millimetern geben einen ausgezeichneten Landmesserwinkel ab.

Viertes Beispiel. Wirkung auf die Zerlegung von Bewegungen. (Dynamischer Analysator.)

Die erstaunlichste Wirkung des trapezförmigen Prismas nach der obigen Beschreibung beruht auf seiner sogleich auseinanderzusetzenden Eigenschaft. Bringt man solch ein Prisma | zwischen die optischen Achsen [[zweier Kollimatoren]], und zwar befestigt an einem Maschinenteil von verwickelter, einer Untersuchung zu unterwerfender Bewegung (Rotation, Nutation [1]), Oszillation usw.), so wird diese Bewegung durch das Prisma im Kollimatorbrennpunkt in zwei Teilbewegungen zerlegt, die sich in völlig verschiedener Weise vollziehen. Die eine | kann eine geradlinig hin und her gehende, die andere eine Pendel- (oder Wagebalken-) Schwingung sein. Diese beiden Teile der einheitlichen [[gegebenen]] Bewegung lassen sich jederzeit beide sowohl nach Richtung wie nach Größe mikrometrisch messen. [[Gehen wir darauf ein, was aus diesen Erscheinungen folgt.]] Zerlegt man die von einem bestimmten Punkte des in Bewegung gesetzten Körpers beschriebene Kurve nach zwei Ebenen [2])]], deren eine senkrecht, deren andere parallel ist zur | Prismen[[kante]] [3]), so sind die beiden fraglichen Erscheinungen stets in einfacher Weise abhängig von den Koordinaten des betrachteten [4]) Punktes in bezug auf diese beiden Ebenen. [[Physiker und Mechaniker werden in dieser Erfindung eine unerschöpfliche Fundgrube finden, die Genauigkeit ihrer Arbeiten zu erhöhen und viele neue Erscheinungen zu untersuchen.]]

Fünftes Beispiel. Wirkung, Gegenstände fest auf anderen abzubilden. (Kriegszielgerät.)

Als Kriegszielgerät habe ich ein kleines Gerät auf denselben Grundgedanken aufgebaut. Es besteht aus einem gläsernen Parallelepiped mit abgeschrägten | Enden, und hat die Eigenschaft, [[durch eine Doppelspiegelung unter rechten Winkeln]] die Bilder von Gegenständen hinter dem Beobachter fest auf solchen vor ihm zu entwerfen, und dabei spielt sich der Sehvorgang so ab, daß die Übereinanderlagerung für solche Gegenstände gilt, deren [[Verbindungs-]] Gerade durch [[das Auge [5])]] des Beobachters läuft. Wird das Parallelepiped wagerecht gehalten, so bezieht sich die Übereinanderlagerung auf Gegenstände von verschiedenem Azimut, und sie findet in einer Vertikalebene [6]) statt, wenn das | gläserne Prisma senkrecht gehalten wird. Ich kann Übereinanderlagerung in beiden Richtungen erhalten, wenn ich noch eine dritte senkrechte Fläche anpoliere. Dieses kleine, so einfache Gerät dient dazu, im Felde ganz geschwinde ohne Absteckpfähle und ohne Hilfskraft alle Aufgaben des Vermessungsingenieurs [7]) zu lösen; auch bei der Landmessung und im öffentlichen Wegebau leistet es gute Dienste. Die Verbindung von zwei Pentagonprismen, die je durch zwei totale [7] schiefe Reflexionen eine Halbumkehrung hervorbringen, und deren Spiegelflächen in die gleiche Richtung gebracht werden, bilden [8]) die Grundlage für ein sehr nützliches Gerät, womit man mit einer einzigen Beobachtung mikrometrisch alle unzugänglichen Entfernungen messen kann, ohne die Größe des Beobachtungsgegenstandes zu kennen. Diese Aufgabe ist bis jetzt noch nicht gelöst worden, | obwohl man ihr viel Arbeit gewidmet hat. [[Ich hebe diese hier vorliegende Sonderanwendung optischer Wirkungen mit dem Namen Tachy-Holometer heraus.]]

---

[1]) Im englischen Text offenbar verdruckt *mutation.*

[2]) Im Englischen *two axes.*

[3]) Im Englischen *the stops of the prism.*

[4]) Im Englischen verdruckt *viewer.*

[5]) *the eyes* im Englischen.

[6]) Im Englischen *in the apozenith.*

[7]) Im Französischen *les problèmes d'alignement et de defilement.*

[8]) Im Englischen *from* statt richtig *form.*

Zweiter Teil.

Lichtwirkung zur Bestimmung der Lagenbeziehung verschiedener Sehdinge zueinander und zu gegebenen festen Richtungen durch Hinzunehmen künstlichen Lichts und schwacher | Spiegelung an durchsichtigen Grenzflächen.

[[*Einziges Beispiel.*]] *Darstellung der optischen Achse von astronomischen Fernrohren und der wirklichen Vertikalebene durch Erleuchtung der Fäden.*

Mit Hilfe eines sehr kleinen und dünnen trapezförmigen Prismas schicke ich von der Seite her künstliches Licht in das Fernrohrmikrometer; dann erscheinen sogleich die Bilder des | leuchtenden Mikrometers längs der optischen Achse. In ihnen sind die Fäden scharf; wenn nun beispielsweise die Lage der Teilstriche [1]) eines Kreises mit ihren Bildern zusammenfiele, so würde die Richtung des Fernrohrs oder seiner Gesichtslinie zu den fest gegebenen Linien bekannt sein, und zwar sozusagen unabhängig von irgendeiner Forderung an die Ausführung [2]). | Brächte man in den Weg der Strahlen als eine schwach spiegelnde Fläche die von unten hinauf und von oben hinab [3]) spiegelnde Oberfläche einer durchsichtigen Flüssigkeit, so würde man eine stets nach dem Zenith gerichtete Ziellinie erhalten. Eine durchsichtige Glasscheibe und in gewissen Fällen sogar [[ein fester ebener Spiegel]] [4]) gestattet die Lagenbeziehung der Gesichtslinie zu einer festen und unveränderlichen Richtung zu bestimmen. Um alle diese Vorteile zu erhalten, | verwende ich bei der Anlage der [Objektiv-]] Linsen derartige Krümmungen, wie sie die in jedem Sonderfalle für die gewünschten Wirkungen erforderlich sind.

[[Es ist nicht nötig, ausführlicher auf die Anwendungen einzugehen, die ich für die schwache Spiegelung an der inneren oder äußeren Fläche durchsichtiger Körper gefunden habe; auch ohne [das wird man die Ausdehnung und die Verschiedenartigkeit der daraus erwachsenden Vorteile erkennen. Denn genau läßt sich nur nach der mit dem Gerät gegebenen besonderen Art und nach den in jedem Einzelfall gestellten Bedingungen bestimmen, was geschehen muß, um die optische Achse eines Fernrohrs oder eine andere optisch fest gegebene Richtung mittels des schwachen Lichts zu zeigen, wie es von der durchsichtigen Fläche eines Glasstücks oder einer Flüssigkeit von meiner künstlichen Beleuchtung, sei sie zum Teil durch ein Prisma oder anderswie hervorgerufen, hervorgebracht wird.

Eine solche Verbindung ist der Grundgedanke für den 2. Teil meiner Erfindung; sie erweist sich ebenso neu wie vorteilhaft für die Anlage von astronomischen, geodätischen und andern Geräten, und ihre verschiedenartigen Anwendungen sind unbestreitbar von Nutzen.]].

Ich beanspruche [5])

Erstens die Verwendung sowohl gespiegelten als auch gebrochenen, von durchsichtigen Körpern durchgelassenen Lichts.

Zweitens die gleichzeitige Verwendung künstlichen Lichts und des | von Sehdingen ausgegangenen, aber an der durchsichtigen Fläche [8] achromatischer Objektive und anderer Gläser und der Oberfläche durchsichtiger Flüssigkeiten gespiegelten und gebrochenen Lichts.

[[Ich glaube, daß die vorstehenden Beispiele und Erklärungen zur Kennzeichnung der Begründung meiner doppelten Erfindung genügen, so daß also kein Zweifel über den Gegenstand der Erfindung so vieler vorliegender neuer Verbindungen und neuer Eigenschaften bestehen bleibt, und über die Allgemeinheit der neuen Anwendungen, die ich unter den Schutz des Gesetzes stellen will.]]

---

[1]) In beiden Vorlagen *verniers.*

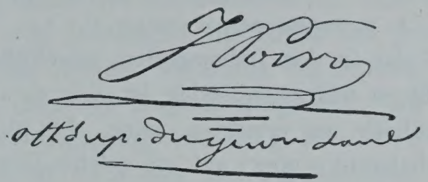
[2]) Im Englischen *upon the fallacious matter.*

[3]) Im Englischen *the in-fero-superior surface.*

[4]) Im Englischen *a mirror, fixed plane.*

[5]) Die juristische Formel [7]$^{27-31}$ wurde unterdrückt.

Zum Schluß gebe ich noch die im englischen Patent erhaltene Nachbildung von Porros Unterschrift wieder. Den Zusatz lese ich als *Off. sup. du génie Sarde.*



Porro [I.], Ein neues Doppelglas ohne Auszüge *(Une nouvelle jumelle sans tirage)*.
Br. d'Inv. Nr. 19050 der 2. Reihe der veröffentlichten Patente,
Nr. 33759 der 2. Reihe der erteilten Patente
vom 23. IX. 1857.

Descr. (2) ***63.*** *S. 385* (veröff. 1868).

Meine Erfindung besteht darin, im Doppelglase zu 12 Linsen[1]) die Linsen paarweise anzuordnen, während sie in den bisher gebräuchlichen Anlagen zu dreien und dreien angeordnet sind.

Diese scheinbar so einfache Erfindung zieht indessen eine Menge glücklicher Folgen nach sich, wie sich aus den folgenden Auseinandersetzungen ergeben wird.

1. In der Rechnung für die Hebung der Abweichungen und der Verzeichnung verfügt man über eine Größe, einen Abstand, mehr und kann damit eine höhere Bildgüte erzielen.

2. Zum Einstellen hat man ebenfalls eine Möglichkeit mehr, d. h. man kann mit dem Paare von Augenlinsen oder mit dem Paare von Zwischenlinsen einstellen; die Zwischenlinsen sind sammelnder Wirkung und gehören zu den Objektiven.

Bei der Ausführung dieser meiner Erfindung habe ich mich an die letztgenannte Möglichkeit als die vorteilhaftere gehalten; ich sehe sie darum als einen notwendigen und wesentlichen Teil meiner Erfindung an, denn sie erlaubt, die Länge des Doppelglases unveränderlich und sehr kurz zu halten und ihm eine von den Doppelgläsern mit Auszug nicht erreichbare Festigkeit zu geben.

Durch eine Vereinfachung der allgemeinen, die für meine Anlage gültigen Bedingungen darstellenden Beziehungen habe ich schließlich noch, immer auf derselben Grundanlage, ein sehr billiges und kleines Doppelglas aus nur vier einfachen Linsen abgeleitet; dieses Glas ist so angelegt, daß der augennächsten Verbindung bei dem 12linsigen Doppelglase ein Glas von unendlicher Brennweite entspricht, und das ist durch einfache Blenden ersetzt worden.

Das folgende oder Zwischenlinsenpaar ist in diesem Falle ein zerstreuendes, und das Objektivpaar, das allein sammelnder Art ist, behält die Aufgabe bei, die es auch bei dem 12linsigen Doppelglas erfüllt.

Die Farbenhebung ist ein wenig unvollkommener als bei der 12linsigen Anlage; sie läßt sich hier erreichen, indem man das Paar zerstreuender Linsen aus Flint von passender Schwere bildet, und das Paar von Sammellinsen aus Kron oder gar aus Quarz.

Gehen wir jetzt von dem Doppelglase, das ja nur [r] die Nebeneinanderschaltung zweier galileischer Fernrohre ist, zu den geodätischen und Nivellierinstrumenten über, so finden wir [das Folgende] leicht. Durch die Verwendung meines achromatischen beweglichen Zwischenglases erhält man, wenn es nur richtig bestimmt und zwischen Objektiv und Okular geschaltet ist, genau wie bei meinem neuen Doppelglase als Ergebnis die Unveränderlichkeit der Länge des Rohrs und eine viel weiter reichende Einstellmöglichkeit; denn man kann vom Nullpunkt, wo das Gerät als Mikroskop wirkt, bis aufs Unendliche einstellen, wo man die Jupitermonde sehen kann.

Und deshalb, weil ein Himmelsfernrohr durch die Verwertung dieses neuen Mittels auf alle Entfernungen eingestellt werden kann, habe ich es ein panfokales Fernrohr genannt.

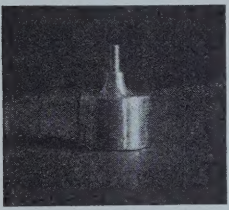
---

[1]) Das Doppelglas von 12 Linsen wurde nach M. v. Rohr (**14**) zuerst von J. Petzval berechnet und 1844 von W. Fr. Voigtländer auf den Markt gebracht. (**14**) bezieht sich auf die Zählung des Quellenverzeichnisses in der 3. Auflage des Czapski-Eppenstein.

Versuche der Herstellung widerstandsfähiger Gewichte.

Von
A. N. Schükarew in Charkow. U.S.S.R.

Es ist bekannt, daß das in den Laboratorien gewöhnlich gebrauchte vergoldete Messinggewicht lange nicht so widerstandsfähig ist, wie es auf Grund der chemischen Eigenschaften seiner Goldhülle zu erwarten wäre. In physikalischen Laboratorien gelangt sehr oft (ganz unbekannt woher) auf ein solches Gewicht Quecksilber, welches unentfernbare Flecken hinterläßt. In chemischen Laboratorien wird es überhaupt sehr von chemischen Reagenzien beeinträchtigt. Außer diesem allem verdirbt sich mit der Zeit das sogar wenig in Gebrauch kommende Gewicht (wie ich selbst die Gelegenheit hatte, mich zu überzeugen) derart, daß auf größeren Gewichten sich schwarze Flecken zeigen. Ich hatte auch die Gelegenheit, dasselbe bei dem platinierten Gewicht zu beobachten. Auf Grund des bereits Gesagten ist das Problem der Herstellung von für Laboratoriumszwecke notwendigen widerstandsfähigen Gewichten, wie sichtbar, noch nicht gelöst.



Besondes stark empfindet man das Fehlen der endgültigen Lösung dieser Aufgabe in solchen Laboratorien, die sich in den weit von den wissenschaftlichen Zentren entfernten Orten befinden, in welchen man leicht das verdorbene Gewicht prüfen könnte.

Der Versuch, das vergoldete Gewicht durch ein solches aus Bergkristall hergestelltes zu ersetzen, ist, wie bekannt, nicht ganz gelungen. Zwar stellt Bergkristall tatsächlich ein gegen alle Reagenzien absolut widerstandsfähiges Material dar, jedoch zeigt dieses Material folgende Mängel:

1. Spezifisch ist dasselbe zu leicht (das spez. Gewicht ist beinahe 2, 3).
2. Bei jedem Herausnehmen aus dem Kasten, beim Abwischen und Abstauben mit dem Pinsel wird dasselbe elektrisiert, und wie ein schlechter Leiter behält es die Ladung, was folglich sein Gewicht vergrößert.
3. Es ist auch nicht billig.

Aus diesen Gründen unternahm Verfasser einige neue Versuche, um diesem Problem näherzukommen und ein Gewicht, das gegen die Mehrzahl der möglichen äußeren Einwirkungen widerstandsfähig wäre, herzustellen.

Das Prinzip dieser Versuche ist folgendes: Wie durch mehrjährige Praxis aller Anstalten für Maße und Gewichte festgestellt ist, erscheint das aus Platin hergestellte Gewicht (namentlich wenn es Iridiumzusatz enthält) unbestritten besonders widerstandsfähig. Aus solchem Material werden Normalgewichte hergestellt. Sein Nachteil beruht nur darin, daß es sehr teuer ist. Man kann diese Schwierigkeit folgendermaßen umgehen. Man verwendet eine aus Platin oder Iridium-Platin in einem Stück gezogene dünne Hülle, die in einem Platinröhrchen endet. Füllt man diese Hülle mit irgendeiner verhältnismäßig nicht hoch schmelzbaren Legierung und verlötet die Öffnung des Platinröhrchens ebenfalls mit Platin durch autogene Schweißung, so erhält man ein Gewicht, das sich in seiner chemischen Widerstandsfähigkeit durch nichts von einem Standardplatingewicht unterscheiden wird.

Im Sommer vorigen Jahres ist es mir durch das liebenswürdige Entgegenkommen der Ukrainischen Hauptanstalt für Maße und Gewichte ermöglicht worden, diese Idee zu prüfen, vorläufig allerdings mit einigen Abweichungen. Es ist mir nämlich nicht gelungen, die Hülle vollkommen gezogen herzustellen, sondern es war in

der Form einer Kapsel mit einem mit Gold verlöteten Boden hergestellt. Das Röhrchen, durch welches der Guß hineingeführt wurde, war ebenso mit dem Gold verlötet.

Bei der Herstellung dieses Gewichtes konnte ich nicht ein Platin von genügender Dehnbarkeit finden. Ich war gezwungen, die Größe der prüfenden Gewichte bis 25 g zu verkleinern und auch die Art der Verlötung der Öffnung des Füllungsröhrchens zu ändern. Es wurden zwei derartige Kapseln hergestellt. Als Material für die Füllung der Kapsel habe ich eine Legierung von 30 g Blei, 20 g Wismuth und 3 bis 4 g Kadmium oder 50 g Wismuth, 47 g Blei und 3 g Kadmium genommen.

Diese Legierungen schmelzen annähernd bei 95° C und haben das spez. Gewicht 10,85 bis 10,9. Der Vorgang der Füllung der Kapsel ist folgender: Es werden Glastrichter mit dünnen, langen, ausgezogenen Kapillaren hergestellt. Darauf wird eine Metallplatte auf ca. 100° C erwärmt, auf welche dann die Platinkapseln gestellt werden. Zur Füllung derselben benützt man den erwärmten Glastrichter, durch den man die vorher geschmolzene und etwas mehr als auf 100° C erwärmte Legierung hineingießt. Die Menge der hineinzugießenden Legierung ist um 1 g weniger, als dies erforderlich ist, um das notwendige Gewicht zu erhalten. Um das Gewicht zur gewünschten Größe zu bringen, gebraucht man folgende Methode.

Man bereitet eine Anzahl genügend dünner Glasröhrchen, von denen man solche auswählt, die leicht in das Rohr der Kapsel hineinpassen können. So ein Röhrchen füllt man durch Saugen mit der geschmolzenen Legierung, und wenn diese erstarrt, beseitigt man das Glas. Die so bekommenen Drähte von ca. 1 mm Durchm. wiegt man in einer Menge, die aber noch etwas weniger ist, als das erforderliche Gewicht. Darauf stellt man wieder die Kapsel auf die heiße Platte, und wenn ihr Inhalt geschmolzen ist, führt man die erwärmten Drähte in die Legierung hinein. Ihre Spitzen schmelzen in der schmelzenden Füllung der Kapsel und vereinigen sich mit dieser. Wenn die Operation vollendet ist, kühlt man die Kapsel ab und wiegt sie nachher auf der Präzisionswage samt kleinen Stäbchen Bleiglas ab, das zur Lötung des Röhrchens dient. Man nimmt ein etwas längeres Glasstäbchen, welches dann durch das Abschleifen soweit verkleinert, bis man das notwendige Gewicht erhält.

Es ist mir nicht gelungen, bei diesen ersten Versuchen die Gewichte mit Gold zu verlöten, da meine Röhrchen zufällig zu kurz waren.

Es ist im allgemeinen möglich, die Kapsel mit längeren Füllröhrchen zu benützen, das nach der Verlötung mit Goldstück in eine Spirale gerollt wird, wie ich dies in einer von meinen Arbeiten[1]) getan habe.

Es gelang auch, die kurzen Röhrchen meiner Kapsel mit Bleiglas zu verlöten. Das Bleiglas, welches bei 600° C schmilzt, kommt leicht in die Röhrchen hinein.

Die Verlötung wird leicht vollführt, und das Gewicht wird dabei so schwach erwärmt, daß man es mit einem nassen Papier in der Hand halten kann. Wenn das Gewicht verlötet ist, so wird die endgültige Justierung seines Gewichtes dadurch bewirkt, daß die Spitze des Platinröhrchens zusammen mit dem eingelöteten Glas auf einem Carborundumstein abgeschliffen wird. Die Justierung kann mit höchster Genauigkeit ausgeführt werden.

Eines von den auf diese Weise hergestellten Gewichten N 2 war genau auf 25 g abgeglichen.

Das Abwiegen des Gewichtes Nr. 2 wurde durch den Eichbeamten ausgeführt und ergab 24,9993 g.

---

[1]) S. *Zeitschr. f. physikal. Chemie* ***44***. *S. 550. 1903.*

Es wurde darauf folgender Behandlung unterzogen:

1. Es wurde fünf Tage in der Atmosphäre von NO_2 gehalten. Nach der Herausnahme und dem Abwischen war sein Gewicht 24,9995 g (auf der gewöhnlichen analytischen Waage gewogen).

2. Es wurde fünf Tage in der Atmosphäre von NH_3 gehalten. Sein Gewicht wurde zu 24,9995 g gefunden.

3. Es wurde fünf Tage in der Atmosphäre von H_2S gehalten. Sein Gewicht wurde 24,9997 g gefunden. Auf der Oberfläche des Gewichtes bemerkte man Spuren von Schwefel.

4. Es wurde auf einige Stunden in destilliertes Wasser eingetaucht. Nach der Herausnahme und nach dem Trocknen war sein Gewicht 24,99965 g.

5. Es wurde im Trockenschrank bei 50^0 C fünf Stunden gehalten. Sein Gewicht wurde 24,9996 g gefunden.

Nach allen diesen Versuchen wurde es endgültig auf der Kontrollwaage durch den Eichmeister abgewogen, wobei ein Gewicht von 24,9993 g festgestellt wurde.

Auf Grund aller dieser Versuche kann ich annehmen, daß die auf diese Weise hergestellten Gewichte vollkommen gegen die chemischen Reagenzien widerstandsfähig sind und kann ich diese als Kontrollstandarte für die Laboratorien empfehlen. Das von mir bereitete Gewicht enthält 4 g Platin. Die Platinmenge der gewöhnlich gebräuchlichen 50 g-Gewichte wird auch nicht größer.

Zum Schluß möchte ich meinen herzlichen Dank dem Direktor der Ukrainischen Hauptanstalt für Maße und Gewichte, Herrn Basyl Masurenko, der diese Arbeit als eine nützliche für die Hauptanstalt erachtet und mir die Möglichkeit für die Ausführung derselben geboten hat, wie auch der Assistentin dieser Anstalt, Frau Olga Lewizka, für die Mitwirkung bei den Versuchen, aussprechen.

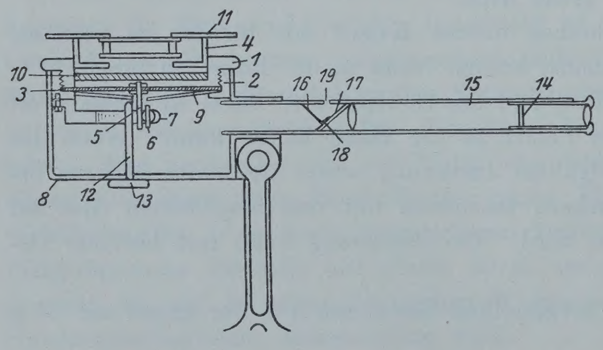
Ukrainische Reichsanstalt für Maße und Gewichte, September 1926.

Referate.

Ein neues Pyrheliometer.

Von P. Paunow, *Ztschr. f. techn. Physik 1927, Nr. 2. S. 77—79,* mit 3 Abbildungen.

Verfasser gibt die Beschreibung eines neuartigen Pyrheliometers, das zweifellos mit den bisherigen Instrumenten der gleichen Gattung in Wettbewerb treten wird, weil seine Wirkungsweise einfach erscheint.



Die beschriebene Ausführungsform soll an der Hand der hier gegebenen Abbildung erläutert werden.

Zwischen dem Oberteil (1) und dem Unterteil (2) eines Messingringes von 70 mm inneren Durchmessers befindet sich durch Verschraubung der beiden Ringe eingeklemmt die ebene, 0,2 mm dicke Messingmembran (3). Sie ist auf ihrer oberen Seite mit Ruß geschwärzt; der durch die Blende (4) ausgeblendete zentrale Teil wird der Strahlung ausgesetzt, während die abgeblendeten Randpartien beschattet bleiben. Infolge der eingestrahlten Wärme muß die lineare Wärmeausdehnung im bestrahlten Teil der Membran größer sein als in den unbestrahlten Teilen. Es tritt eine Wölbung der Membran ein, und zwar um so größer, je stärker der durch die Einstrahlung bedingte Temperaturunterschied

zwischen bestrahlter Mitte und den abgeschirmten Randpartien ist. In ihrer Mitte trägt die Membran den durch Verschraubung befestigten Stößel (5), der mit seinem freien Ende die zu ihm senkrechte, leicht drehbare Achse (7), die ihrerseits den Spiegel (6) trägt, innig berührt. Die an dem Klemmring (1, 2) befestigte Kapsel 8, ebenso wie der mit einem Durchlaß für den Stößel (5) versehene flache Trichter (9) dienen zum Schutz gegen störende Einflüsse der Konvektion usw. Die geschwärzte Membranvorderfläche wird gegen solche Einflüsse entweder durch die gezeichnete Glasplatte (10) oder ein Blendensystem geschützt. Der doppelte Metalldeckel (11) wird aufgedeckt, wenn das Instrument nicht benutzt wird. Gegen den Boden der Kapsel (8) stützt sich eine Stellschraube (12) mit ihrem Kopf (13), mittels der die Achse (7), d. h. auch der Spiegel (6) gedreht werden kann, falls die Friktion zwischen Achse und Stößel nicht versagt. Die Wölbung der Membran bewegt den Stößel und dreht den Spiegel. Die Spiegelbewegung gibt also ein Maß für die auf die Membran eingestrahlte Wärme und wird durch das mit Meßskala (14) versehene, an der Schutzkapsel befestigte Ablesemikroskop (15) beobachtet. Das erforderliche Licht fällt durch das mit Mattglas abgedeckte Fenster (16) auf die planparallele Platte (17), von dieser auf den Spiegel. Auf die Planplatte ist ein Papierstreifen (18) in geeigneter Weise aufgeklebt. Das Bild der Schattengrenze, die durch den etwas vom Glas abgehobenen unteren Rand des Streifens erzeugt wird, wird beobachtet. Durch die Öffnung (19) im Fenster (16) erhält man ein Bild der Strahlungsquelle auf der Planplatte, das zur Kontrolle der Einstellung des Instruments auf senkrechten Strahleneinfall benutzt wird. Das Stativ (20) — besser wäre noch eine parallaktische Aufstellung — gestattet jede beliebige Einstellung.

Bei Versuchsmessungen, die der Verf. mit künstlicher Strahlung vornahm, genügten 0,04 kl. Kalorien pro Minute und qcm Fläche, um die Schattengrenze im Ablesemikroskop um 0,1 mm zu verschieben, obwohl vor der Membran die Glasplatte zum Schutz gegen Konvektion usw. lag. Wie der Verfasser mitteilt, soll die Empfindlichkeit noch weiter zu steigern sein.

Der Verfasser hat mit demselben Meßorgan ein Registriergerät bauen lassen, doch erübrigt sich hier näher darauf einzugehen.

Nach Ansicht des Ref. ist der schwächste Punkt der mechanischen Konstruktion die Friktionsübertragung, die gegen Störungen in der beschriebenen Anordnung nicht genügend gesichert erscheint. Auch bedarf wohl die theoretische Grundlage, auf der das Instrument beruht, der Überprüfung, denn trotz der Einfachheit der Anordnung, die sehr besticht, sind eine ganze Anzahl von Faktoren von Einfluß, deren Gewicht nicht ohne weiteres zu übersehen ist. Von geringerer Bedeutung sind ein auffallender Druckfehler, verschiedene Mängel in der Zeichnung (Abb. 3) und verschiedene Unklarheiten in der Beschreibung, die hätten vermieden werden können.

W. Keil.

Eine neue „Archimedes"-Rechenmaschine.

An Hand der Maschine.

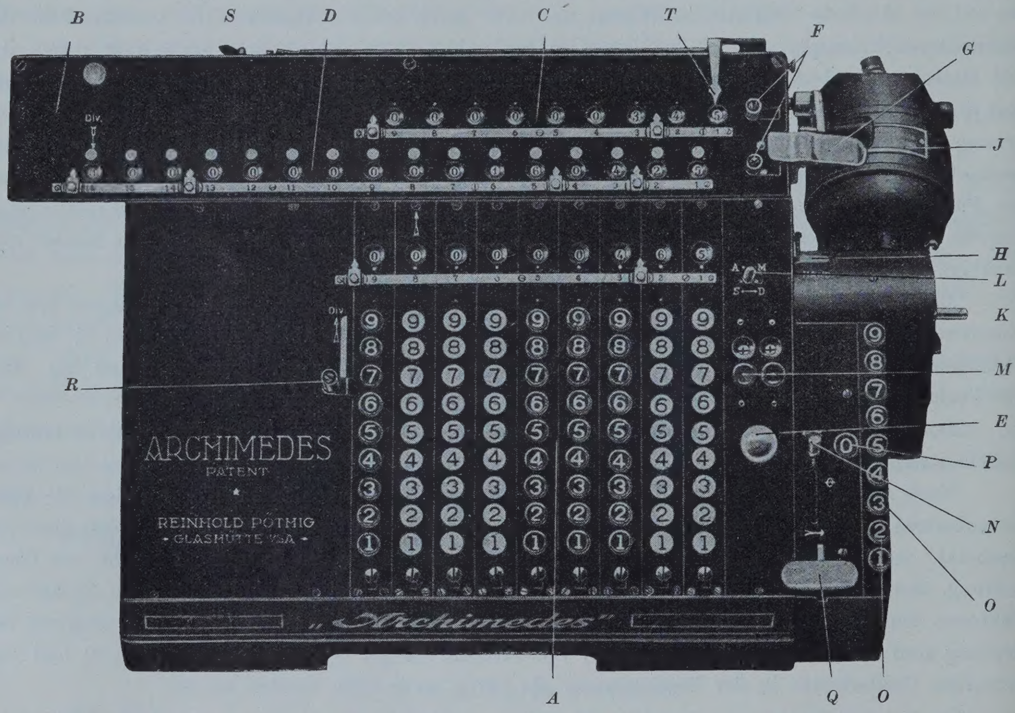
Die bekannte, in Glashütte hergestellte Staffelwalzen-Rechenmaschine „Archimedes" ist von H. Sabielny in beachtenswerter Weise verbessert worden; die neue, nach seinen Angaben gebaute Maschine ist eine Tastenmaschine, bei der insbesondere die bei den seitherigen Staffelwalzenmaschinen nicht bequeme Weiterbewegung des Schlittens selbsttätig ausgeführt wird.

Die neue Maschine „Archimedes" besteht, wie die seitherige Bauart dieser Maschine, aus dem Einstellwerk *A* mit Tasteneinstellung, dem Schlitten *B* mit dem Umdrehungszählwerk *C* und dem Resultatwerk *D*. Das Einstellwerk *A* hat eine Gesamtlöschvorrichtung in Gestalt eines Druckknopfes *E*; außerdem ist für jede Tastenreihe ein darunter angebrachter Löschknopf vorhanden. Die Löschung des Umdrehungszählwerkes *C* und des Resultatwerkes *D*, die beide mit Zehnerübertragung versehen sind, geschieht in der bei den seitherigen „Archimedes"-Maschinen üblichen Weise nach Abheben des Schlittens *B* mittels der Knöpfe *F*; für das Abheben des Schlittens ist ein bequemer Handgriff *G* vorhanden.

Die Maschine ist zunächst für elektrischen Antrieb eingerichtet; sie kann aber auch bei Versagen des elektrischen Stromes von Hand bedient werden. Soll mit elektrischem Antrieb gerechnet werden, so muß der Schieber *H* — wie in der Abbildung — auf „Elektr." stehen; im anderen Falle

auf „Hand“. Der elektrische Antrieb erfolgt durch den Motor *J*; bei Handbetrieb muß eine Kurbel auf die Achse *K* gesteckt werden.

Der Schieber *L* dient zur Einstellung der jeweiligen Rechnungsart; er muß beim Addieren und Subtrahieren links und beim Multiplizieren und Dividieren rechts stehen. Über den beiden Drucktasten *M* befinden sich zwei Öffnungen, in denen beim Addieren und Multiplizieren je „+“ und beim Subtrahieren je „—“ stehen muß; beim Dividieren erfolgt die erforderliche Einstellung selbsttätig. Der Hebel *N* bezieht sich auf die Multiplikation; er ist — wie in der Abbildung — nach oben zu stellen, wenn man beim Multiplizieren mit der links stehenden Ziffer des Multiplikators beginnt, will man mit der rechts stehenden Ziffer beginnen, so muß der Hebel nach unten gestellt sein. Die erforderliche Einstellung ist durch entsprechende Pfeile angegeben. Die neun Tasten bei *O* dienen beim Multiplizieren zum Einstellen der einzelnen Ziffern des Multiplikators. Die mit „*O*“



bezeichnete Taste *P* braucht man beim Multiplizieren mit Handbetrieb zum Verstellen des Schlittens *B*. Die große Taste *Q* ist für das Addieren und Subtrahieren bestimmt und dient zum Übertragen einer Einstellung im Werk *A* in das Werk *D*. Der Schieber *R* und der Hebel *S* werden beim Dividieren gebraucht.

Soll mit der Maschine addiert werden, so werden bei entsprechender Stellung des Schiebers *L* und der Tasten *M* die einzelnen Summanden der Reihe nach im Einstellwerk *A* eingestellt und bei elektrischem Antrieb durch einen kurzen und leichten Druck mit dem Daumen oder dem Handballen auf die Taste *Q* in das Resultatwerk *D* übertragen; dabei wird der jeweils in *A* eingestellte Summand selbsttätig gelöscht.

Beim Subtrahieren wird der Minuend entweder mittelbar mit Benutzung des Werkes *A* in das Werk *D* übertragen, oder er wird unmittelbar in *D* mit Hilfe der für diesen Zweck vorhandenen Drehknöpfe ziffernweise eingestellt. Nach Einstellung des Subtrahenden im Werk *A* wird bei richtiger Stellung des Schiebers *L* und der Tasten *M* die Rechentaste *Q* kurz angedrückt; der eingestellte Subtrahend wird dabei selbsttätig gelöscht.

Für das Multiplizieren muß der Schieber *L* rechts stehen und mit den Tasten *M* je „+“ eingestellt sein. Je nachdem man die Ziffern des Multiplikators von links nach rechts oder umgekehrt einstellen will, ist der Hebel *N* nach oben oder unten einzustellen. Nach Einstellung des Multiplikanden im Werk *A* werden den einzelnen Ziffern des Multiplikators entsprechend — unter Berücksichtigung der Stellung des Hebels *N* — die betreffenden Tasten *O* angedrückt; der Schlitten *B*

wird dabei selbsttätig in der durch die Stellung des Hebels *N* bestimmten Richtung verschoben. Rechnet man mit Handbetrieb, so erfolgt die Schlittenfortbewegung nach Andrücken der Taste *P*.

Beim Dividieren muß der Schieber *L* rechts stehen; die Einstellung der Tasten *M* erfolgt selbsttätig. Nachdem der Dividend entweder mittelbar mit Benutzung des Einstellwerkes *A* oder unmittelbar mit Hilfe der Drehknöpfe in dem Werk *D* eingestellt wurde, wird der Divisor in dem Werk *A* eingestellt. Zweckmäßig, aber nicht notwendig, ist es, dem Schlitten *B* vor Ausrechnung der Division die dem jeweiligen Beispiel entsprechende Stellung zu geben; drückt man dann den Schieber *R* nach oben, so erfolgt die eigentliche Rechnung bei elektrischem Betrieb und bei Handbetrieb vollständig selbsttätig. Mit Hilfe des Hebels *S* kann bei elektrischem Antrieb die Rechnung jederzeit beliebig unterbrochen werden. Mit Benutzung des Pfeiles *T* kann man in einfacher Weise mit einer zum voraus festgesetzten Stellenzahl des Quotienten rechnen.

Wie diese kurze Beschreibung des Gebrauchs der Maschine zeigt, arbeitet die neue „Archimedes“-Rechenmaschine beim Multiplizieren und Dividieren vollständig selbsttätig; die Maschine stellt daher eine wertvolle Bereicherung des Rechenmaschinenmarktes vor.

Die Maschine wird in vier Größen hergestellt, mit 13-, 16-, 20- und 24-stelligem Resultatwerk.

Der Weltvertrieb der Maschine geschieht durch die Rechenmaschinenfabrik Hans Sabielny in Dresden-A. *P. Werkmeister.*

Der Reduktionstachymeter Bosshardt-Zeiss.

Nach einer Beschreibung von R. Bosshardt und einer Gebrauchsanweisung von C. Zeiss.

Der nach den Angaben von R. Bosshardt unter Mitwirkung von A. König von der Firma C. Zeiss[1]) hergestellte „Reduktionstachymeter“ ist ein „Präzisionsdistanzmesser“ zur optischen Messung von Strecken für Katasterzwecke.

Das entfernungsmessende Fernrohr gehört zu einem Repetitionstheodolit, der einen Horizontalkreis mit 10,5 cm Durchmesser und einen Vertikalkreis mit 8 cm Durchmesser hat. Die Ablesungen an den Kreisen erfolgen mit Skalenmikroskopen, beim Horizontalkreis an zwei gegenüberliegenden Stellen und beim Vertikalkreis an nur einer Stelle auf 20″ bzw. 50″ genau; alle drei Stellen können mit einem Okular in demselben Gesichtsfeld abgelesen werden. An Libellen sind eine Dosenlibelle, eine feste Alhidadenlibelle, eine Vertikalkreislibelle und eine Nivellierlibelle in Gestalt einer Doppellibelle vorhanden. Das Fernrohr ist ein solches von unveränderlicher Länge; es ist durchschlagbar und hat 24fache Vergrößerung. Als Theodolit kann demnach das Instrument zur üblichen Messung von Polygonzugwinkeln und bei der Festlegung von Punkten nach Polarkoordinaten benutzt werden.

Das entfernungsmessende Fernrohr ist ein Doppelbild-Entfernungsmesser, bei dem von der im Zielpunkt horizontal aufgestellten Latte zwei, zu beiden Seiten einer nur leicht erkennbaren Geraden erscheinende Bilder erzeugt werden. Die Latte trägt außer der eigentlichen 1 cm-Teilung noch eine Hilfsteilung in Gestalt von einem Nonius; der Nullstrich des Nonius liegt derart zur Lattenteilung, daß die Additionskonstante des Fernrohres bei den Ablesungen nicht mehr berücksichtigt werden muß. Die Multiplikationskonstante ist gleich 100, so daß mit Hilfe des über der Hauptteilung erscheinenden Nonius die Entfernungen an der Latte auf ganze Dezimeter genau abgelesen werden können.

Die beiden Bilder der Latte entstehen dadurch, daß das Gesichtsfeld in zwei Teile geteilt ist. In dem oberen Teil sieht man, durch das Objektiv blickend, die Hauptteilung der Latte; dem unteren Teil des Gesichtsfeldes sind zwei, einen parallaktischen Winkel erzeugende Glaskeile vorgeschaltet, durch die man den Nonius sieht.

Ein Noniusstrich fällt nur dann mit einem Strich der Hauptteilung zusammen, wenn die zu messende Strecke in den Zentimetern auf null endigt; ist dies nicht der Fall, so wird der einem Teilungsstrich am nächsten liegende Noniusstrich durch Drehen einer Schraube zum Zusammenfallen mit dem Teilungsstrich gebracht. Für diesen Zweck ist in dem oberen Teil des Gesichtsfeldes vor dem Objektiv — ähnlich wie bei dem großen Nivellierinstrument von C. Zeiss — eine plan-

[1]) Vgl. R. Bosshardt, Das neue Reduktions-Tachymeter. *Schweiz. Zeitschr. f. Verm.* **25**. *S. 1. 1927.*

parallele Platte angebracht, die mit Hilfe der genannten Schraube um eine vertikale Gerade gedreht werden kann. Die Trommel der Schraube trägt eine Teilung, an der man unmittelbar die Zentimeter — und durch Schätzung die Millimeter — der zu messenden Entfernung ablesen kann. Diese Einrichtung zur Messung der Zentimeter ist derart einfach, daß man von jeder Strecke in ganz kurzer Zeit mehrere, voneinander unabhängige Messungen ausführen kann.

Mit Rücksicht auf Streckenmessungen in der Schweiz in stark verschiedenen Meereshöhen — die durch diese bedingten Verbesserungen betragen nach R. Bosshardt bis zu — 2,5 cm und + 1,3 cm ür 100 m — ist das Instument so eingerichtet, daß man die Größe der Multiplikationskonstant verändern kann; für diesen Zweck ist vor den beiden Meßkeilen ein drehbarer Glaskeil angebracht.

Damit bei verschiedenen Höhen von Instrument und Latte unmittelbar die horizontale Entfernung zwischen beiden an der Latte bzw. Schraube abgelesen werden kann, sind die beiden, den parallaktischen Winkel erzeugenden Meßkeile drehbar angeordnet. Die Einrichtung ist derart, daß der parallaktische Winkel seinen größten Wert bei horizontaler Lage des Fernrohrs und seinen kleinsten Wert — gleich null — bei vertikaler Stellung des Fernrohrs hat; die dazwischen liegenden Werte werden dadurch erzeugt, daß die Kippbewegungen des Fernrohrs durch ein System von Zahnrädern auf die Meßkeile übertragen und diese entsprechend gedreht werden.

Die zu dem Instrument gehörige Latte wird mit Hilfe einer stativartigen Vorrichtung horizontal gelegt; ihre Einstellung senkrecht zu der messenden Strecke geschieht mit einer einfachen Zielvorrichtung. Die Stellung der Latte kann vom Instrument aus mittelst einer an der Latte angebrachten kollimatorartigen Vorrichtung nachgesehen werden.

Durch Drehen eines am Fernrohr angebrachten, mit Anschlägen versehenen Ringes kann man den unteren, durch die beiden Meßkeile bestimmten Teil des Gesichtsfeldes ganz abblenden und zugleich einen gewöhnlichen Fadenentfernungsmesser mit der Konstanten 100 einschalten.

Der „Reduktionstachymeter Bosshardt-Zeiss“ hat im Vergleich zu dem „Doppelbild-Tachymeter Aregger-Kern“[1]), der ihm in bezug auf Einfachheit im Bau überlegen ist, zwei wesentliche Vorteile; diese bestehen in der besonderen Vorrichtung zur bequemen Messung der Zentimeter und in der unmittelbaren Messung von horizontalen Entfernungen.

Zur Bestimmung der mit dem Instrument erreichbaren Genauigkeit hat R. Bosshardt in horizontalem Gelände neun, zwischen 40 und 130 m liegende Strecken je viermal — mit derselben Aufstellung von Instrument und Latte — mit dem Instrument und außerdem mit Meßlatten mit genau bekannten Längen gemessen; dabei ergaben sich als Unterschiede d zwischen dem Mittel aus vier, rasch hintereinander ausgeführten Instrumentmessungen und den Lattenmessungen die folgenden Werte:

$s \approx$	41	52	62	73	85	91	97	119	130 m
$d =$	— 3	+ 4	— 3	+ 2	+ 1	+ 5	+ 2	— 9	+ 15 mm

Eingehende Versuchsmessungen wurden mit dem Instrument vom bayerischen Landesvermessungsamt im Gebiete der Erweiterungsmessung von Regensburg ausgeführt[2]); dabei wurden „außerordentlich gute Resultate“ erzielt. Das Gelände, in dem diese Messungen ausgeführt wurden, ist „zu zwei Dritteln sehr stark, zu einem Drittel schwach geneigt“. Die Berechnungen ergaben eine mittlere Abweichung von ± 2 cm auf 100 m der optischen Streckenmessung von der Lattenmessung, so daß „zwischen den Ergebnissen der optischen und der Lattenmessung praktisch kein Unterschied besteht“. *P. Werkmeister.*

Prüfung der Teilung eines Wildschen Universaltheodolits.

Von F. Ackerl. *Österr. Zeitschr. f. Vermessungsw. 1926. S. 85.*

Die hier mitgeteilte Untersuchung bezieht sich auf den Horizontalkreis des Theodolits Nr. 380 von H. Wild. Das bei der Untersuchung angewandte Verfahren ist dasselbe wie bei J. Heuvelink[3]). Die Untersuchung ergab für den größten Teilungsfehler nicht ganz 0″,4, für den mittleren

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **47**. *S. 313. 1927.*

[2]) Vgl. Eder, Versuchsmessungen mit dem Bosshardtschen Distanzmesser. *Zeitschr. f. Verm. 1926. S. 528.*

[3]) Vgl. *diese Zeitschr.* **45**. *S. 70. 1925.*

totalen Teilungsfehler $\pm$ 0″,18 und für den mittleren zufälligen Teilungsfehler $\pm$ 0″,065. Wie diese Zahlen zeigen, ist auch die Teilung dieses aus der Werkstätte von H. Wild hervorgegangenen Theodolits eine außerordentlich gute.

Im Anschluß an das Prüfungsergebnis teilt der Verfasser die Ergebnisse einiger Richtungs- und Winkelmessungen mit, die auf Triangulierungspunkten III. und IV. Ordnung ausgeführt wurden. Bei diesen Messungen hat er u. a. in zwei Punkten A und F zuerst mit einem Schraubenmikroskoptheodolit von Starke & Kammerer und dann mit dem Theodolit von H. Wild die Richtungen nach vier Punkten in vier Sätzen beobachtet; dabei fand er für den mittleren Fehler einer Richtung in einem Satz bei dem Mikroskoptheodolit in A $\pm$ 0″,86 und in B $\pm$ 1″,04, und bei dem Wildschen Theodolit $\pm$ 1″,03 bzw. 0″,95. Auf Grund von weiteren Vergleichen weist der Verfasser — wie H. Wild selbst — darauf hin, daß bei dem neuen Theodolit die reine Winkelmessung der Satzmessung vorzuziehen ist. Nach den Erfahrungen des Verfassers ist „der neue Wildsche Theodolith zur Beobachtung von Triangulierungen III. und IV. Ordnung vorzüglich geeignet".

P. Werkmeister.

Über die Prüfung von Schraubenmikrometern, insbesondere die Bestimmung der periodischen Fehler von Schraubenmikroskopen an Theodoliten und ein neues hierzu dienendes einfaches Hilfsmittel.

Von H. Hohenner. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1926. S. 129.*

Zur Bestimmung der periodischen Fehler eines Schraubenmikrometers braucht man bekanntlich eine unveränderliche Hilfsstrecke, die man auf verschiedene Weise bekommen kann. Der Verfasser verwendet einen nach seinen Angaben von der Firma Dr. Steeg & Reuter in Bad Homburg gebauten „Schraubenprüfer"; dieser besteht aus einem 0,5 bis 1,5 mm dicken planparallelen Doppelspatplättchen und einem Polarisationsprisma. Das Doppelspatplättchen wird bei der Prüfung auf einen Strich der zu dem Mikroskop gehörenden Teilung gelegt und bis zu der gewünschten Größe der Hilfsstrecke um die Mikroskopachse gedreht; die dabei sich ergebende Lage der Plättchen wird durch Andrücken auf eine dünne Wachsunterlage festgehalten. Das Polarisationsprisma wird auf das Okular des Mikroskops gesetzt; es ist in einer Hälfte spielend leicht drehbar und ist mit zwei, um 90 Grad auseinanderliegenden Marken versehen. Beim Einstellen der einen Marke ist das eine Bild und beim Einstellen der anderen Marke ist das andere Bild des Teilstriches verschwunden.

Die neue Vorrichtung stellt einen wesentlichen Fortschritt vor im Vergleich zu den von Winnecke[1]) angegebenen, bei der ein achromatisiertes Bergkristallprisma vor dem Okular des Mikroskops angebracht wird.

Der Verfasser teilt im Anschluß an die Beschreibung seines Schraubenprüfers ein von ihm durchgeführtes Beispiel mit, aus dem die praktische Brauchbarkeit der neuen Vorrichtung zu ersehen ist.

P. Werkmeister.

Ergebnisse der Versuchsmessungen mit einem 8 cm-Theodolit mit Schraubenmikroskopen.

Von Vermessungsrat Blass. *Allg. Vermessungsnachr. 1926. S. 689.*

Das Instrument, mit dem die Versuchsmessungen ausgeführt wurden, stammt aus den Werkstätten von M. Hildebrand und wurde früher von K. Lüdemann[2]) eingehend beschrieben. Der Verfasser kommt auf Grund seiner eingehenden Untersuchungen zu dem Ergebnis, „daß ein geübter Beobachter mit dem Instrumentchen es ruhig wagen darf, noch III. Ordnung mit gutem Erfolg zu beobachten". Für Klein- und Stadttriangulierung bezeichnet der Verfasser „das Instrument mit seinen ausgezeichneten Eigenschaften und ganz besonders wegen seiner äußerst bequemen Beförderung geeignet, sich als sehr nutzbringend zu erweisen". Auch für „Feinpolygonisierung bei hochgeloteten Zielen und Zwangszentrierung" wird das Instrument empfohlen.

P. Werkmeister.

---

[1]) Vgl. *Astr. Nachr. Bd. 91. S. 297.*

[2]) Vgl. *diese Zeitschrift **43.** S. 145. 1923.*

Die Genauigkeit der Höhenbestimmung durch Einschaltung mit Federbarometern.

Von K. Lüdemann. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1927. S. 231.*

Die Ergebnisse dieser Genauigkeitsbestimmungen beruhen auf zahlreichen, vom Verfasser in den Jahren 1908—1925 ausgeführten Messungen, bei denen die Höhen von Punkten einerseits durch Einschaltung mit einem Federbarometer zwischen zwei gegebenen Punkten und andererseits durch Nivellieren bestimmt wurden. An den Aneroidablesungen wurden keine Verbesserungen angebracht; insbesondere wurde ein Einfluß der Innentemperatur nicht berücksichtigt. Den äußeren Beobachtungsverhältnissen (Zustand der Atmosphäre, Gangbarkeit des Weges, Aufeinanderfolge der Punkte usw.) entsprechend wurden die Messungen in die drei Güteklassen „günstig, mittel und weniger günstig" eingeteilt. Die benutzten Instrumente sind von drei verschiedenen Größen.

Die Instrumente der ersten Gruppe mit 106 mm Teilungsdurchmesser stammen von der bekannten Firma Bohne in Berlin; sie sind alle als „kompensiert" bezeichnet und erlauben Ablesungen durch Schätzung auf 0,05 mm genau. Der mittlere Fehler eines mit diesen Instrumenten gemessenen Höhenunterschiedes ist in der ersten Güteklasse ± 0,8 m, in der zweiten ± 1,1 m und in der dritten ± 1,4 m.

Das Instrument der zweiten Gruppe stammt ebenfalls von Bohne; es hat einen Teilungsdurchmesser von 59 mm, ist als „kompensiert" bezeichnet und gestattet Ablesungen durch Schätzung auf 0,1 mm genau. Die mit diesem Instrument ausgeführten Messungen ergaben für den mittleren Fehler eines Höhenunterschiedes bei der ersten Güteklasse ± 1,0 m, bei der zweiten ± 1,2 m und bei der dritten ± 1,5 m.

Das ebenfalls „kompensierte" Instrument der dritten Gruppe ist von unbekannter Herkunft; es hat 36 mm Teilungsdurchmesser und gestattet Ablesungen durch Schätzung auf 0,2 mm genau. Der mittlere Fehler einer mit diesem Instrument bestimmten Höhe beträgt bei der ersten Güteklasse ± 2,4 m, bei der zweiten ± 3,5 m und bei der dritten ± 4,0 m.

Mit Rücksicht auf die große Zahl der den vorliegenden Genauigkeitsbestimmungen zugrunde liegenden Messungen bilden diese einen wertvollen Beitrag zur Beurteilung der Genauigkeit von barometrisch gemessenen Größen. *P. Werkmeister.*

Bücherbesprechungen.

B. Gutenberg, Lehrbuch der Geophysik. II. Lief. 8°. 234 S. m. 113 Abb. und 2 Tafeln, geh. 13,80 RM. III. Lief. 8°. 208 S. m. 76 Abb. geh. 12,00 RM. IV. Lief. 8°. 188 S. m. 48 Abb. geh. 11,40 RM. Gebr. Bornträger, Berlin, 1826.

Die in der Besprechung der ersten Lieferung, *diese Zeitschr.* ***47.*** *S. 162. 1927,* ausgesprochene Hoffnung, daß das Lehrbuch nach den seinerzeit vorliegenden Anfängen geeignet sein könne, eine fühlbare Lücke an einer brauchbaren Übersicht über die gesamte Geophysik auszufüllen, wird durch die neu vorliegenden Lieferungen II bis IV voll und ganz bestärkt.

Der bereits in der ersten Lieferung begonnene Abschnitt VI über die Erdbebengeologie bringt durch den Bearbeiter Sieberg, Jena, eine umfassende Zusammenstellung der Geschichte und Grundbegriffe der Erdbebenkunde, sowie der geologischen Ursachen und Auswirkungen von Beben an Hand einer großen Zahl von Illustrationen. Eine ausführliche Beobachtungsanleitung schließt den Absatz ab. Mehr instrumententechnisch behandelt Gutenberg in Abschnitt VII die physikalischen Vorgänge bei Erdbeben. Nach einer Besprechung der verschiedenen Erdbebenmesser und -schreiber, auf deren Theorie für ein Lehrbuch zum Teil recht weitgehend eingegangen wird, werden die auftretenden Erscheinungen und die Ausdeutungsmöglichkeiten der Seismogramme behandelt, ebenso wie die Folgerungen aus den verschiedensten Beobachtungen, die, durch zahlreiche Tabellen wirksam unterstützt, ein anschauliches Bild über das Problem und die bereits vorliegenden Spezialarbeiten geben. Abschnitt VIII bringt vom gleichen Verfasser eine Zusammenstellung über Wasserwellen und Gezeiten des Meeres und der festen Erdrinde nebst den Seespiegelschwankungen. Besonderes Interesse ist der Theorie der Gezeiten und deren Verwertung für die Praxis gewidmet. In Abschnitt IX werden die Bewegungen der Erdachse behandelt. Präzessionen und Nutationen, Pol-

höhenschwankungen, Beobachtungsmethoden derselben, und die sogenannten Polwanderungen mit kurzem Aufblick auf die dabei auftretenden Kräfte und deren möglichen Folgeerscheinungen (Erdbeben usw.) werden besprochen. Abschnitt X bringt von J. Bartels eine umfangreiche Ausführung über erdmagnetische Beobachtungsmethoden, daneben aber auch gut ausgewählt eine Reihe von mehr die Theorie von Erdmagnetismus, Erdstrom und Polarlicht behandelnden Kapiteln. Die Zusammenhänge der einzelnen Momente sind außerordentlich klar herausgearbeitet. Der physikalische Aufbau der Erde bildet das Thema des XI. Abschnittes. In aller Ausführlichkeit werden hier von Gutenberg die Kenntnisse und Ansichten über Gestalt und Dichte der Erde, über die Temperatur, den Druck, den Aufbau und den Aggregatzustand der Materie im Erdinnern im Wandel der Zeiten behandelt. Eine große Anzahl von Tabellen und Abbildungen geben viel Material an Hand und tragen außerordentlich zur Übersichtlichkeit bei. Eines der interessantesten Kapitel haben wir mit der recht umfangreichen Darstellung der geophysikalischen Aufschließungsmethoden in Abschnitt XII vorliegen. Die darin besprochene experimentelle Seismik beansprucht heute ja sehr großes Interesse. Man muß den drei Bearbeitern Ansel, Bartels und Gutenberg Dank wissen, daß dieser große Fragenkomplex so gut ausgewählt und in der Darstellung der gravimetrischen Methode, des erdmagnetischen Aufschlußverfahrens, der elektrischen Aufschlußverfahren und der Verfahren, die mit elastischen Wellen arbeiten, so ausführlich behandelt ist. Auch hier ist es anzuerkennen, daß der Verlag offenbar keine Kosten gescheut hat, um eine reichhaltige Illustration zu ermöglichen. Abschnitt XIII bringt von Weickmann, Leipzig, den Aufbau der Atmosphäre. Beobachtungen und Berechnungen der Zusammensetzung der Atmosphäre, über ihre Zustandsänderungen sind in aller Kürze zusammengefaßt und lassen einen Einblick in die Methoden gewähren. Ausführlicher behandeln Linke und A. Wegener die Optik der Atmosphäre in Abschnitt XIV. Linke befaßt sich besonders mit den atmosphärischen Strahlungsvorgängen und macht den Versuch, die Erscheinungen der meteorologischen Optik, soweit sie durch die Natur der Atmosphäre als trübes Medium bedingt sind, zu betrachten. Das Studium der Trübungserscheinungen wird von ihm mit Recht als einer der aktuellsten Forschungszweige und eines der aktuellsten Hilfsmittel zu Forschungen über den Aufbau der Atmosphäre hingestellt. A. Wegener behandelt die atmosphärische Strahlenbrechung, Refraktion und damit zusammenhängende Fragen, wie Luftspiegelungen, Verzerrungen von Sonne und Mond am Horizont. Auch die optischen Erscheinungen an Wolken, an Regenbogen und die verschiedenen Ringerscheinungen bei Sonnenbeobachtungen finden ausführliche Würdigung. Den Abschluß der Lieferung IV bildet Abschnitt XV mit der Darlegung der elektrischen Vorgänge in der Atmosphäre von Benndorf. Die Leitfähigkeitsverhältnisse der Luft und ihre Studien werden behandelt, Ionisation der Atmosphäre, durchdringende Erd- und Luftstrahlung, Höhenstrahlung sind besprochen. Das elektrische Feld der Erde und seine Störungen bilden einen weiteren Abschnitt, der Elektrizitätstransport von, zu und in der Erde bilden den Abschluß der interessanten Darlegungen. *P. Duckert.*

J. Bonsdorff, Verhandlungen der in Helsingfors vom 28. Juni bis 2. Juli 1924 abgehaltenen geodätischen Konferenz. Helsinki 1925.

Die geodätische Konferenz in Helsingfors hatte den Zweck, über die „Messung eines geschlossenen einheitlichen astronomisch-geodätischen Dreiecksnetzes I. Ordnung längs der Küste des Baltischen Meeres über die dänischen Sunde, das Alands-Meer und den Finnischen Meerbusen in der Gegend von Helsingfors—Reval“ zu beraten. Die an dieser Stelle interessierenden Ergebnisse der Beratungen, an denen Vertreter von Deutschland, Estland, Finnland, Lettland, Litauen, Polen und Schweden teilnahmen, sind die folgenden:

Für die Bezeichnung der Zielpunkte für die Winkelmessung werden Heliotrope und künstliche Lichtquellen vorgeschlagen; für Seiten kleiner als 15 Kilometer werden „Scheiben mit weißem Zentrum auf dunklem Grunde“ als benützbar erklärt. Das Licht von Leuchttürmen soll immer vermieden werden.

Für die Beobachtungsinstrumente wird es als wünschenswert angesehen, daß sie einen Kreisdurchmesser von wenigstens 20 cm haben, und daß die unmittelbare Ablesung mindestens 2″ beträgt; die Objektive sollen eine Öffnung von wenigstens 50 mm haben, die Fernrohrvergrößerung

soll mindestens 30fach sein. Die Kreise sollen auf Teilungsfehler untersucht sein; der Höchstbetrag für den zufälligen Fehler eines Teilungsstriches soll nicht mehr als $\pm$ 0,6″ betragen.

Die Winkel sollen entweder durch Winkelmessungen in allen Kombinationen oder durch vollständige Richtungssätze ermittelt werden. Der mittlere Fehler einer Richtung nach der Stationsausgleichung soll $\pm$ 0,75″ nicht überschreiten.

Mit Rücksicht auf die Messung von etwa sechs Grundlinien wurde die ständige Kommission beauftragt, auf Grund der in Deutschland, Schweden und Finnland gemachten Erfahrungen gemeinsame Grundsätze über die Verfahren und Genauigkeit von Grundlinienmessungen aufzustellen. Beschlossen wird, daß die Grundlinienapparate auf einer gemeinsamen Vergleichsstrecke geeicht werden sollen; hierfür wurden die Grundlinien auf Öland und bei Helsingfors vorgeschlagen.

Für die Längenbestimmungen wird es als wünschenswert bezeichnet, daß die Beobachtungen möglichst mit dem unpersönlichen Registriermikrometer ausgeführt werden.

Für die beabsichtigten relativen Schweremessungen werden die Sterneckschen Pendelapparate empfohlen. *P. Werkmeister.*

Osk. Knoblauch und **K. Hencky,** Anleitung zu genauen Temperaturmessungen. Zweite, völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage. München und Berlin 1926, R. Oldenbourg. XV, 174 S.

Unter Hinweis auf die Besprechung der ersten Auflage (*diese Zeitschr.* ***40.*** *S. 170. 1920*) sei hervorgehoben, daß in der neuen Auflage die Beispiele über die bei Temperaturmessungen möglichen Meßfehler im Gegensatz zu früher vielfach auf experimentell durchgeführten Versuchen beruhen. Ferner sind jetzt auch die Strahlungspyrometer berücksichtigt und einige Fälle behandelt, bei denen mit diesen Instrumenten Hilfskörper anvisiert werden, welche nur zum Zweck der Messung in die Räume gebracht werden, deren Temperatur bestimmt werden soll. Über die Messung mit Strahlungspyrometern ließe sich noch erheblich mehr sagen. Der Schwerpunkt des Buches liegt in dem Temperaturgebiet, das den Maschineningenieur interessiert. Hier ist die erste Auflage bereits von großem Nutzen gewesen und ihre Grundgedanken haben schon mehrfach den Weg in andere Lehrbücher gefunden. Die zweite Auflage wird in verstärktem Maße im gleichen Sinne wirken.

Henning.

R. Seeliger, Einführung in die Physik der Gasentladungen. Leipzig 1927. Verlag von Joh. Ambr. Barth. IX, 423 S. 8⁰ mit 5 Tafeln und 184 Abbildungen. Preis brosch. RM. 22.—, geb. RM. 24.—.

Dieses Buch, das der Verfasser dem Andenken seines Vaters, des großen Münchener Astronomen H. v. Seeliger, gewidmet hat, ist aus akademischen Vorlesungen und aus Vorträgen im Elektrotechnischen Verein Berlin und im Siemenskonzern entstanden. Es soll eine Zusammenfassung des Notwendigen und Wesentlichen aus der Physik der Gasentladungen nicht in Handbuchform sondern in der Art eines Lehrbuches geben.

Über den Inhalt des Werkes ist folgendes zu berichten: Die drei ersten Kapitel sind als Vorbereitung aufzufassen, sie behandeln die notwendigen physikalischen Grundlagen, nämlich die Leitfähigkeit der Gase, die Ionentheorie und die Kinetik der Ladungsträger. Erst die folgenden sechs Kapitel beschäftigen sich mit dem eigentlichen Gebiet der Gasentladungen. Nachdem im 4. Kapitel die allgemeinen Eigenschaften der selbständigen Entladungen übersichtlich zusammengestellt worden sind, werden in den nächsten zwei Kapiteln die raumladungsfreien Entladungen, die als Townsend-Entladungen bezeichnet werden, und deren Theorie behandelt. Hierauf werden die Glimmentladung und die Bogenentladung gesondert und ausführlich dargestellt. Im letzten, neunten, Kapitel wird schließlich die Theorie dieser raumladungsbeschwerten Enladungsformen angegeben. Dann folgen noch 43 Seiten Anmerkungen und Zusätze zu den einzelnen Kapiteln, denen wertvolle Erläuterungen und Ergänzungen und wichtige Literaturhinweise zu entnehmen sind. Ein ausführliches Sachverzeichnis beschließt das Buch.

Die klare, verständliche Art der Darstellung R. Seeligers wird durch 184 schön ausgeführte Textfiguren und 5 Tafeln wirksam unterstützt. Druck und Ausstattung des Buches sind einfandfrei. Das Erscheinen des Seeligerschen Buches wird von vielen, die sich über das physikalisch und technisch gleich bedeutungsvolle Gebiet der Gasentladungen rasch und zuverlässig unterrichten wollen,

freudig begrüßt werden. Eine solche zusammenfassende und lehrhafte Darstellung dieses Zweiges der Physik, der in dem letzten Vierteljahrhundert einen gewaltigen Aufschwung nahm, hat zweifellos gefehlt. *H. Hartinger.*

Bemerkungen zu der Arbeit von Th. Eversmann: „Mittlere Exzentrizität einiger Zwangszentrierungen".

(Diese Zeitschr. 47. S. 465—488. 1927.) Von Dr. phil. *W. Uhink* in Kassel.

In der in der Überschrift angezogenen Arbeit werden Mitteilungen über Messungen gemacht, die den mittleren Fehler der Exzentrizität einiger Zwangszentrierungen zu berechnen erlauben. Die Ergebnisse sind also selbst mittlere Fehler. Es ist von besonderem Interesse, außer diesen als Resultate auftretenden mittleren Fehler noch die Genauigkeit der ermittelten Werte selbst abzuleiten. Die grundlegende Formel ist auf S. 481 entwickelt und lautet für das Quadrat des mittleren Exzentrizitätsfehlers

$$m_e^2 = \frac{s \cdot s}{6 \cdot \varrho \cdot \varrho}\left\{\frac{[w \cdot w]}{n} - 3\,(m_z^2 + m_a^2)\right\}.$$

Hierin bedeutet:

m_e der mittlere Exzentrizitätsfehler,
m_z „ „ Zielfehler des Fernrohres,
m_a „ „ Ablesefehler am Horizontalkreis,
w „ Fehler des Dreiecksabschlusses,
n die Anzahl der Dreiecksabschlüsse,
s „ durchschnittliche Länge einer Dreiecksseite,
ϱ = 206 265.

Wir suchen jetzt den mittleren Fehler für m_e^2, wobei wir s als fehlerfrei annehmen wollen. Zunächst bestimmen wir den mittleren Fehler des Ausdruckes

$$\Delta^2 = \frac{[w \cdot w]}{n}$$

nach den Angaben der Zahlentafeln auf S. 471—474. Die Abschlußfehler w sind in diesen Tabellen als wahre Fehler behandelt. Für diesen Fall ergibt sich unter Voraussetzung des Gaußschen Fehlergesetzes, das auch in der genannten Arbeit benutzt wird, nach Helmert, Methode der kleinsten Quadrate, 2. Aufl. S. 32, Formel 17, III

$$\mu_{\Delta^2} = \Delta^2 \sqrt{\frac{2}{n}}.$$

Als mittleren Fehler der Δ^2 hat man daher in den vier Fällen:

Seite 471	$\mu_{\Delta^2} = \pm\ 51$
„ 472	$\pm\ 930$
„ 473	$\pm\ 505$
„ 474	$\pm\ 25{,}4$

Nun wären die mittleren Fehler des Ausdrucks $(m_z^2 + m_a^2)$ zu berechnen. Um diese Größe selbst zu finden, sind besondere Winkelmessungen durchgeführt worden. Da jedoch die einzelnen Zahlenangaben fehlen, lassen sich nicht ohne weiteres die mittleren Fehler der Größe $(m_z^2 + m_a^2)$ angeben. Wir wollen daher annehmen, daß sie gleich Null gesetzt werden können, was aber natürlich sicher ein zu günstiges Ergebnis liefern wird. Unter dieser günstigen Annahme können also die mittleren Fehler μ_{Δ^2} auch als die mittleren Fehler des Klammerausdruckes für m_e^2 angesehen werden; unter Beachtung der Faktoren erhalten wir nach den Angaben S. 482/483:

1. Prismenaufstellung	$m_e^2 = 0{,}0021 \pm 0{,}0076$
2. Steckhülseneinrichtung ohne Signalgewichte	$= 0{,}24 \pm 0{,}135$
3. „ mit „	$= 0{,}0013 \pm 0{,}0730$
4. Drehzapfenaufstellung	$= 0{,}024 \pm 0{,}008$

In Anbetracht des Umstandes, daß die mittleren Fehler sicher zu klein angesetzt sind, wird man keinem der Werte eine reelle Bedeutung beimessen können. Von den beiden Fällen, in denen m_e^2 seinen mittleren Fehler überhaupt an Größe übertrifft, wollen wir den Fall 2 noch besonders behandeln.

Für diesen Fall sind die Teilergebnisse in der Bestimmung von $m_z^2 + m_a^2$ auf S. 478 mitgeteilt. Man erkennt zunächst, wie auch an anderen Stellen der Arbeit, daß die Messungen der drei Beobachter E., H. und K. in ihrer Güte kaum vergleichbar sind. Aber gerade dieser Umstand macht es durchaus nötig, die Messungen der einzelnen Beobachter getrennt zu behandeln. Bei der Tabelle S. 472 lag die Vermutung nahe, daß Beobachtungen 1—10 von E., 11—20 von H. und 21—30 von K. ausgeführt worden sind. Der Verfasser war so liebenswürdig, die Richtigkeit dieser Annahme zu bestätigen. Bei dieser Dreiteilung der Tabelle erkennt man deutlich durchaus systematische Unterschiede in den Größen w für die drei Beobachter, die wohl kaum dem Steckhülsengerät zur Last gelegt werden können; denn wenn etwa eine Durchbiegung des Wandarmes an diesen systematischen Fehlern schuld sein sollte, so ist nicht einzusehen, weshalb sie sich bei den beiden Beobachtern E. und K. in hauptsächlich positiven Werten w und bei H. in fast nur negativen Werten äußern sollte. Daher scheint es so, als ob das ungünstige Ergebnis im Falle 2 auf einen systematischen Fehler zurückzuführen ist, der den Wert Δ^2 vergrößert, ohne daß dabei das Steckhülsengerät die Schuld trifft. Aus demselben Grunde erscheinen die Ergebnisse für Fall 4 zu ungünstig, bei dem in der Arbeit selbst nachgewiesen wurde, daß systematische Fehler vorliegen müssen.

Aus allen diesen Überlegungen geht hervor, daß das angewandte Meßverfahren nicht geeignet ist, den Exzentrizitätsfehler zu ermitteln; das gilt ganz besonders für den Breithauptschen Steilschacht-Theodolit, der eine Schätzung von 60″ am Horizontalkreis gestattet. Der Vergleich mit den beiden Hildebrand-Instrumenten, die ohne Schätzung 30″ bzw. 10″ geben, mußte zu Ungunsten des Steilschachtgerätes ausfallen, wenn überhaupt der glückliche Zufall eintrat, daß m_e^2 positiv wurde. Daher scheinen auch die Schlüsse zu weitgehend, daß durch Anhängen der Lotgewichte der mittlere Exzentrizitätsfehler merklich herabgedrückt worden ist, wenn natürlich keineswegs verkannt werden soll, daß eine kleine Durchbiegung des Wandarmes stattgefunden haben kann.

Es ist zu bedauern, daß die Messungen nicht so angeordnet worden sind, daß besondere Beobachtungen zur Bestimmung von $m_z^2 + m_a^2$ unnötig waren. Dadurch hätte die Homogenität des Materials entschieden gewonnen, denn wie aus den Zahlen auf S. 478 hervorgeht, ist offenbar die Schätzungssicherheit des Beobachters E. zeitlich stark veränderlich, so daß es zweifelhaft ist, ob er bei den Messungen zur Tabelle S. 472 bereits dieselbe Übung besessen hat, wie bei der zweiten Bestimmung von $m_z^2 + m_a^2$. Leider ist aus der Arbeit nicht zu ersehen, wieweit die einzelnen Messungen zeitlich auseinander liegen.

Ferner erscheint es für den Steilschacht-Theodolit ungünstig, daß er im Gegensatz zu den anderen Instrumenten nach Eintritt der Dunkelheit benutzt worden ist. Wenn das auch seinem Verwendungszweck entspricht, so mußte es doch dazu führen, daß die Ergebnisse ungünstiger wurden, als bei den anderen Instrumenten.

Zusammenfassend kann man aus den Zahlen der Arbeit also nur sagen: Die drei untersuchten Zwangszentrierungen sind so genau, daß sich ein Exzentrizitätsfehler bei dem angewandten Beobachtungsverfahren nicht nachweisen läßt, denn die Größe des mittleren Fehlers von m_e^2 läßt erkennen, daß dem errechneten Wert m_e^2 keine reelle Bedeutung zukommt.

Bei den vorstehenden Bemerkungen wurde ganz davon abgesehen darauf hinzuweisen, daß die Messungen nur dann den mittleren Exzentrizitätsfehler liefern würden, wenn kein Durchneigen der Wandarme und damit eine Schrägstellung des Instrumentes stattfände. Das Instrument wird man zwar vor jeder Winkelmessung wieder horizontieren, aber bei einer Durchbiegung des Armes kommt der Schnittpunkt von Vertikal- und Horizontalachse nicht an dieselbe Stelle, an der sich das Signal befand. Deshalb sind die Ergebnisse des Verfassers, wenn man ihnen trotzdem reelle Bedeutung beimessen will, kein Maß für die Güte der Zwangszentrierungen, sondern nur für die Güte der Wandarme. Diese Ergebnisse wird man daher dankbar anerkennen; allerdings erscheint der Weg, auf diese Weise die Wandarme zu untersuchen, reichlich umständlich. Bequemer ist es, einfach die Durchbiegung mit einer Libelle zu messen.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

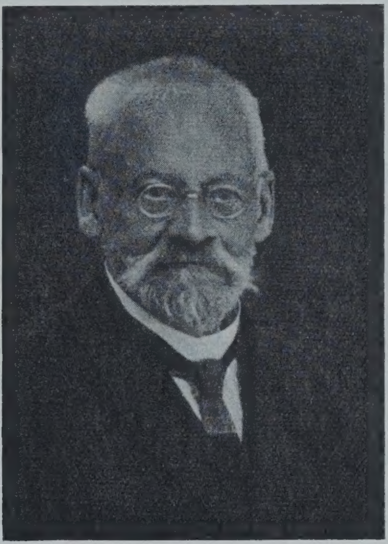
Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena, Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

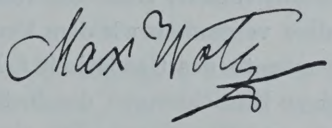
Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **März 1928.** Drittes Heft.

Max Wolz †.

Am 17. Januar d. Js. starb in Bonn, fast 78 Jahre alt, Max Wolz, Inhaber einer feinmechanischen Werkstatt. Eine schwere Lungenentzündung raffte den noch rüstigen und immer tätigen Mann in wenigen Tagen hinweg.





Mit ihm ist ein gedankenreicher und geschickter Künstler seines Faches von einem Wissen und Können, wie wir es heute nur noch selten finden, von uns gegangen. Aus seiner Werkstatt, die nur klein ist im Verhältnis zu den umfangreichen Betrieben der Neuzeit, ist eine große Anzahl der verschiedensten Instrumente für Forschungs-, Lehr- und wirtschaftliche Zwecke hervorgegangen, die sich an Gründlichkeit der Durchbildung, sowie Schärfe und Sauberkeit der Ausführung mit den allerbesten Erzeugnissen messen können. Max Wolz, der über sechzig Jahre in seinem Berufe mit ausgesprochener Liebe tätig sein

konnte, hat mit seines Kopfes und seiner Hände Arbeit der Wissenschaft und Praxis Dienste geleistet, wie es nicht vielen von uns vergönnt ist.

Sein Lebenslauf möge noch einmal kurz an uns vorüberziehen.

Geboren am 12. Mai 1850 zu Geisa in der Rhön, als Sohn des Kreisphysikus und Medizinalrates Dr. Wolz, besuchte er die Schule seines Heimatortes und dann in Eisenach. Mit dem Einjährigfreiwilligen-Zeugnis verließ er die Schule, um seiner ausgesprochenen Neigung folgend Mechaniker zu werden.

Er trat als Lehrling in die damals noch recht bescheidene Werkstatt von Karl Zeiss in Jena ein. Mit Stolz erzählte er später, daß er schon zu jener Zeit für Professor Abbe Teilungen und kleinere Instrumente anfertigen durfte. Als die vier Lehrjahre beendet waren, beabsichtigte er bei Pistor & Martins in Berlin seinen Gesichtskreis zu erweitern. Da hier aber keine Stelle frei war, beschäftigte er sich kurze Zeit in einer kleinen Werkstatt in Berlin, die für die genannte Firma arbeitete. Er ging dann auf kurze Zeit nach München, dann nach Freiberg in die Werkstatt von Hildebrand und kam etwa 1873/74 zu Bamberg nach Berlin. Hier wurde er hauptsächlich mit der Prüfung der nautischen und geodätischen Instrumente betraut, und ihre letzte Feinjustierung war seine Hauptarbeit. In dieser Zeit ist er auch, als Mitglied des Fachvereins Berliner Mechaniker, Mitbegründer der Deutschen Gesellschaft für Mechanik und Optik geworden[1]).

Anfangs der achtziger Jahre war an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Bonn das geodätische Studium eingerichtet worden, und man empfand als Mangel, daß in Bonn keine geeignete feinmechanische Werkstatt vorhanden war. Mein Vorgänger im Amt, der spätere Geheime Oberfinanzrat Otto Koll, machte 1883 Bamberg auf diesen Übelstand aufmerksam, und dieser veranlaßte Max Wolz, den kurz vorher schon Geheimrat Neumayer nach Wilhelmshaven berufen wollte, sich in Bonn niederzulassen.

Der Verstorbene ging mit großem Eifer an die Eröffnung seiner Werkstatt, und schon 1887 konnte er sie auf eigenem Gelände errichten. Die verschiedenartigsten Instrumente sind in der Werkstatt ausgesonnen und hergestellt. Eine Hauptgruppe bilden die Landmessungsinstrumente feiner und gröberer Art, wie Theodolite, Nivelliere, Bussolen, Höhenmesser, Nivellierlatten, Meßlatten usw. Insbesondere verdanken wir dem Verstorbenen auch eine große Zahl der besonderen Instrumente des Geodätischen Instituts in Bonn und die Herstellung der einschlägigen Einrichtungen des Instituts. Weiter arbeitete er für die Sternwarten in Bonn und Düsseldorf. Die eigenartigsten physikalischen Instrumente lieferte seine Werkstatt für Forschungs- sowie Lehrzwecke, und Abbe bezeichnete z. B. Mitte der achtziger Jahre den wichtigen Glaszylinder für das Totalreflektometer nach Pulfrich, dessen Herstellungsweise und Untersuchungsart Wolz ersonnen und den er in eigener Werkstatt schuf, als besonderes Kunstwerk. Viele feine Längen- und Kreisteilmaschinen entstanden

[1]) Auf Seite 8 der Festschrift von Blaschke von 1927 fehlt unter den im vorigen Jahre noch lebenden Gründern neben Haecke der Name von Max Wolz.

unter seiner geschickten Hand. Er war Meister im Herstellen feinster Meßschrauben. Viel Freude hat ihm auch die sorgfältige Gravur und Herstellung der Sternkarten für die Bonner Durchmusterung und für andere Sternaufnahmen gemacht. Seine Instrumente sind in allen Kulturländern der Erde verbreitet.

Mit vielen Gelehrten, Praktikern und Erfindern hat er verhandelt. Äußerst bescheiden und zurückhaltend im Auftreten, wußte er ihre Gedanken in durchführbare Formen zu fassen und zu verkörpern. Nichts ging aus seiner Werkstatt heraus, das er nicht selbst geprüft und für gut erachtet hatte, selbst wenn es das einfachste Meßgerät war.

Ganz fern lag ihm Aufmachung und Reklame.

Ein schwerer Schlag traf seine Werkstatt, als sie während der Besatzungszeit Instrumente und Geräte nicht ausführen konnte. Er erlebte aber noch die Freude, zu sehen, wie, nach der Zurückziehung der Besatzung, seine alten Kunden wieder zu ihm kamen.

Wir würden sein Wirken nur unvollkommen wiedergeben, wenn wir nicht auch erinnerten an die mühseligen Arbeiten, die er als Lehrer in seinem Fach geleistet hat. Sie sind in erster Linie seinem Stande und insbesondere dessen Nachwuchs zugute gekommen. Zahlreiche Lehrlinge hat er in der mechanischen Kunst ausgebildet und sie zu einer Gründlichkeit in der Arbeit erzogen, wie sie ihm selbst eigen war. Im Jahre 1885 trat er lebhaft mit für die Gründung einer Handwerkerschule in Bonn ein. An ihr wirkte er zunächst als Lehrer und wurde bald ihr Leiter, bis sie 1908 auf die Fortbildungsschule überging. Die Schule wurde auf seine Veranlassung nach den Grundsätzen einer Arbeitsschule ausgebaut, wie sie Kerschensteiner schon damals vertrat. Mit seinem wissenschaftlichen Können und seinen reichen Erfahrungen hat er so einem großen Kreise genutzt. Vor allem verstand er es, in seinen Schülern die Liebe zum Beruf zu erwecken, wie sie ihm selbst so stark innewohnte. Die jährlich zur Ausstellung kommenden Schülerarbeiten zeigten, welche freiwillige Arbeit hier mit Ernst und Begeisterung geleistet wurde. Über 25 Jahre, bis zum vorigen Herbst, war Max Wolz auch Vorsitzender der Gesellenprüfungs-Kommission für Feinmechaniker und bis zu seinem Tode Beisitzer in der Meisterprüfungs-Kommission in Köln.

Bei dieser vielseitigen Beschäftigung konnte er nur für seine Arbeit und seine Familie leben. Die Gattin, die er 1881 in Berlin heimgeführt hatte, starb schon 1892 in Bonn. Seine beiden Töchter sind beruflich als Ärztin und Gartenwirtschaftslehrerin tätig. Das Geschäft liegt jetzt in der Hand seines Sohnes, Dr. Kurt Wolz, dem es gelingen möge, den Ruf, den der Vater für die Werkstatt begründet hat, immer hochzuhalten.

Bonn, im Januar 1928.

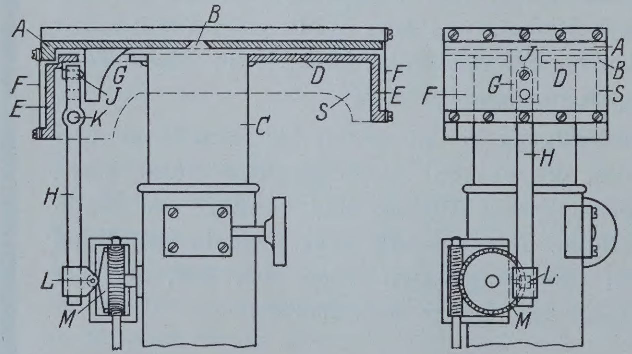
C. Müller.

Vorrichtung zur Verbreiterung von Sternspektren für photometrische Zwecke.

Von

B. Meyermann in Göttingen.

Für photometrische Zwecke verbreitert man bei der photographischen Aufnahme das fadenförmige Sternspektrum auf einige Zehntelmillimeter, so daß man eine Fläche erhält, deren Schwärzung in den verschiedenen Wellenlängenbereichen visuell oder mit einem Registrierphotometer leicht zu messen ist. Die Verbreiterung geschieht meist durch schrittweises Verschieben der Platte senkrecht zur Richtung des Spektrums mit Hilfe einer Mikrometerschraube. Diese wird in gleichen Zwischenzeiten um gleiche Beträge gedreht und zwar entweder von dem Beobachter mit der Hand oder automatisch durch einen Apparat, wie ihn z. B. Zeiss-Jena baut. Diese Art der Verbreiterung hat den Nachteil, daß die Aufnahmen durch kleine Führungsfehler im Fernrohre oder in der Fortbewegung der Platte leicht streifig werden und der Beobachter, selbst bei der automatischen Verbreiterung, durch die Kontrolle der einzelnen Verschiebungen neben der Führung des Fernrohres stark in Anspruch genommen ist. Diese Nachteile fallen fort, wenn man die Verbreiterung nicht durch schrittweises Nebeneinandersetzen einzelner gleich lang exponierter Aufnahmen erzielt, sondern das Spektrum kontinuierlich mit gleichförmiger Geschwindigkeit rasch über die Platte hin- und herführt. Der Beobachter hat dann nur darauf zu achten, daß die geforderte Gesamtexpositionszeit innegehalten wird, worin er durch eine einfache Weckervorrichtung unterstützt werden kann. Sonst hat er lediglich auf die Führung des Fernrohres zu achten. Ob die Exposition am Rande oder in der Mitte des verbreiterten Spektrums beginnt bzw. endet, ist bei visuellem Photometrieren unmerkbar und bei Auswertung mit einem Registrierphotometer ganz gleichgültig. Voraussetzung für eine rasche und doch sichere Hin- und Herführung der photographischen Platte um etwa 0,2 mm ist eine möglichst reibungslose Führung. Ausführbar ist dies in einer Form, die ich bereits beim Bau der zweiten Göttinger Schraffierkassette (*s. Astron. Nachr.* **174.** *S. 138*) geplant hatte, die aber damals nicht ausgeführt wurde. Die Konstruktion einer solchen Verbreiterungsvorrichtung, wie sie für den in *dieser Zeitschr.* **46.** *S. 485. 1926* beschriebenen Quarzspektrographen zur Zeit hier ausgeführt wird, ersieht man aus der Abbildung.



Das obere Ende des Kamerarohres trägt die feste Platte *D*, welche gleichsam den Boden einer viereckigen länglichen Kiste bildet, dessen schmale Seitenwände mit *E* und dessen lange Seitenwände mit *S* bezeichnet sind. Über der Platte *D* befindet sich, von dieser nur durch einen geringen Zwischenraum getrennt, der Kassettenträger *A*. Das Bild des Spektrums (in Abb. 1 senkrecht zur Ebene des Papiers stehend) fällt durch den veränderlichen Spalt *B* auf die photographische Platte. Diese ist mit der Kassette auf dem Kassettenträger *A* quer zum Spektrum in einer Führung leicht zu verschieben und festklemmbar, so daß mehrere Spektren auf dieselbe Platte aufge-

nommen werden können. *A* ist mit *D* verbunden durch zwei breite Federn *F* aus dünnem Stahl- oder Bronzeblech. Die Federn besitzen die volle Breite der schmalen Seite von *A* bzw. *E*, an deren unterer Kante sie auf vorspringenden Leisten befestigt sind. *A* kann sich so nur in der Richtung senkrecht zum Spektrum ein wenig bewegen, und zwar ist diese Bewegung so gut wie reibungslos. Von der Platte *A* ragt eine Nase *G* durch eine Aussparung in *D* nach unten. Gegen die ebene Stirnfläche von *G* drückt der Hebel *H* mit der Spitze der Schraube *J* unter dauernder Spannung der Federn *F*. Hebel *H* dreht sich um die Achse *K*, welche in den Längswänden des Stückes *D* gelagert ist. *H* trägt an seinem anderen Ende die kleine Rolle *L* in einer Fassung, die sich längs des Hebelarmes verschieben und dann festklemmen läßt. Die Rolle *L* läuft auf dem Rande eines Stahlzylinders *M*. Dieser Rand bildet zur Hälfte eine Rechts-, zur anderen Hälfte eine Linksschraube. Bei einer vollen Umdrehung des Zylinders bewegt sich *L* mit gleichförmiger Geschwindigkeit um 1 mm hin und her. Durch *H* wird diese Bewegung übertragen auf *A*, so daß die Platte relativ zum Spektrum um eine kleine Strecke mit gleichförmiger Geschwindigkeit hin und her geführt wird. Durch Verschieben der Rolle *L* längs des Hebelarmes bzw. durch Versetzen der Schraube *J* in vorgesehenen Schraubenlöchern läßt sich die Größe der Verbreiterung verändern. Die Drehung des Stahlzylinders geschieht mittels eines Schneckentriebes durch einen mit einem Regulator versehenen Elektromotor, so daß der Zylinder etwa 15 Umdrehungen in der Minute ausführt. Das Spektrum vollendet daher eine Überdeckung auf der Platte in 2 Sekunden. Der Schneckentrieb mit Stahlzylinder ist in einem Schwalbenschwanz am Kamerarohre verschiebbar angebracht. Zweckmäßiger wird man vielleicht den Hebel *H* als rechtwinkligen Hebel ausbilden und den Schneckentrieb unter *D* setzen, etwa da, wo in Abb. 1 der Buchstabe *D* steht. Den Motor setzt man am besten auf die Deklinationsachse und überträgt von dort seine Bewegung unter Herabsetzung der Umdrehungszahl auf den Schneckentrieb.

Sternwarte Göttingen.

Ein neuer technischer Farbmeßapparat.

Von

Dr. **Freda Herzfeld-Hoffmann**, Patentanwalt in Berlin.

Die Bedeutung von genauen Farbmessungen für die Betriebskontrolle ist in den letzten Jahren in steigendem Maße innerhalb der verschiedensten Industrien erkannt worden, sowohl in solchen Industriezweigen, welche direkt die Färbung der hergestellten Produkte zu beachten haben, als auch in Betrieben, welche die Farbmessung an Stelle der oft zu langwierigen chemischen Analysen indirekt, d. h. zur Feststellung des Gehaltes ihrer Produkte an bestimmten Komponenten verwenden. In engem Zusammenhang mit dieser Entwicklung steht die Einführung genauer Farbmeßmethoden und damit wächst in verschiedensten Industrien das Bedürfnis nach zuverlässigen, schnell arbeitenden und einfach zu handhabenden Meßvorrichtungen zur Feststellung der Färbung, und zwar sowohl des Farbtones als auch der Farbtiefe. Der im folgenden beschriebene Apparat wurde für diese Zwecke in zwei verschiedenen Ausführungsformen konstruiert.

Bei Meßvorrichtungen, die für den Gebrauch in Industrielaboratorien bestimmt sind, müssen Fehlerquellen, die der geübte Experimentalphysiker durch eigene Beobachtung vermeiden würde, durch die Apparatkonstruktion selbst so weit wie nur irgend möglich ausgeschieden werden. Man muß außerdem eine wissenschaftlich einwandfreie Methode zugrunde legen. Ferner ist ein Hauptorfordernis für Apparate,

die für technische Messungen bestimmt sind, die Möglichkeit die Untersuchungen schnell auszuführen.

Der neue Farbmesser[1]) ermöglicht die Durchführung vollkommen genauer Farbmessungen in einem Bruchteil der bisher erforderlichen Zeit bei einfachster Handhabung und besitzt die für die Verwendung in Industrielaboratorien erforderliche stabile gekapselte Form.

Die Meßvorrichtung lag in der vorzüglichen König-Martensschen Durchbildung des Polarisationsphotometers seit langen Jahren vor. Der Versuch, das Polarisationsphotometer in der Technik einzuführen, scheiterte bisher an der für eine Untersuchung erforderlichen Zeitdauer und an der Empfindlichkeit der Apparatur. Im Betriebslaboratorium einer Fabrik handelt es sich zumeist darum, sehr viele Lösungen zu untersuchen; außerdem muß häufig das Untersuchungsergebnis sehr bald nach der Entnahme der Probe aus dem Betriebe vorliegen, damit es rechtzeitig für irgendwelche sofortigen Verbesserungsmaßnahmen auf den einzelnen Betriebsstationen ausgenutzt werden kann.

Es wurde daher ein Apparat ausgebildet, der, auf der König-Martensschen Methode beruhend, ein erheblich beschleunigtes und vereinfachtes Arbeiten gestattet und in der ganzen Art seines Aufbaues einen technischen Meßapparat darstellt. Der Apparat wurde als Spektralpolarisationsphotometer durchgebildet. Die Spektraloptik ist mit wenigen Handgriffen gegen ein einfaches Reflexionsprisma auswechselbar angeordnet. In dieser vereinfachten Form ist der Apparat oft besonders brauchbar für Serienuntersuchungen in Betriebslaboratorien, bei denen nur die relative Verfärbung von Flüssigkeiten und Säften zu Zwecken der Betriebskontrolle gemessen wird.

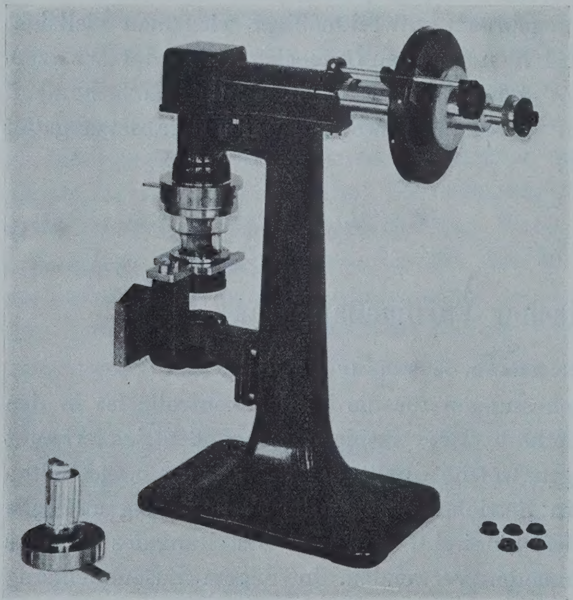


Abb. 1.

Abb. 1 zeigt den neuen Apparat in Gesamtansicht. Links vorn ist der neuartige Tauchkörper gesondert abgebildet. Der Tauchkörper[2]) besteht aus einem stufenförmig ausgebildeten Glaskörper, der in einer Metallfassung ruht. Die Metallfassung paßt als Deckel auf ein Glasgefäß, welches die Untersuchungsflüssigkeit enthält und in den Strahlengang hineingeschoben wird. Durch den hereintauchenden Glaskörper werden in der Untersuchungssubstanz zwei dicht nebeneinanderliegende, verschieden lange Schichten gebildet. Die Schichtdickendifferenz ist gleich der Größe der Stufe in dem verwendeten Glaskörper. Zu jedem Apparat gehören eine Anzahl verschieden gestufter Tauchkörper. Die Stufendifferenz beträgt bei den bisher verwendeten Apparaten 1 bis 50 mm. Man hat es daher in der Hand, stets in einem für die Beobachtung günstigen Helligkeitsgebiet zu beobachten, auch wenn die zu untersuchenden Lösungen sehr verschiedene Farb-

[1]) Hergestellt durch Schmidt & Haensch, Berlin S 42, Prinzessinnenstr. 16.

[2]) Patente angemeldet.

tiefen besitzen. Die Vertauschung der beiden Schichten gegenüber der Symmetrieachse der Beobachtungsvorrichtung von rechts nach links erfolgt durch einfache Drehung des Tauchkörpers um 180 Grad. Die Drehung ist mittels eines einzigen Handgriffes auszuführen, ein Anschlag (in der Abbildung des Tauchkörpers vorne am Rand zu sehen) arretiert den Tauchkörper in der genau um 180 Grad gegen die Anfangsstellung verdrehten Lage. Nach vollendeter Messung wird die Untersuchungssubstanz aus dem offenen Gefäß einfach ausgegossen. Ein ein- oder zweimaliges Ausspülen des Untersuchungsgefäßes mit der nächsten Substanz, bevor man diese untersucht, genügt im allgemeinen. Den Boden des Gefäßes bildet eine abschraubbare Glasplatte, so daß auch die gründliche Reinigung des Gefäßes einfach und schnell vorgenommen werden kann. Als Beleuchtungsquelle ist eine Ulbrichsche Kugel vorgesehen, die direkt auf den Apparat aufgeschoben wird. Man hat dadurch den Vorteil, daß die Stellung der Beleuchtungsquelle zu der übrigen Apparatur ein für allemal fixiert ist. Man kann natürlich auch eine beliebige andere Beleuchtungsvorrichtung verwenden. Der abgebildete Apparat ist für die Beobachtung mittelst farbiger Glaslichtfilter eingerichet. In der Abb. 1 sind die betreffenden Filter rechts unten abgebildet. Sie werden einfach auf das Okular aufgesteckt. Man beobachtet dann z. B. eine Flüssigkeit einmal im roten, einmal im grünen und einmal im blauen und mißt die durchschnittlichen Extinktionskoeffizienten innerhalb dieser Gebiete. Welche Filter bzw. welche Farbgebiete für eine spezielle Untersuchung, insbesondere also für einen bestimmten Fabrikbetrieb, die geeignetsten sind, muß im Einzelfall entschieden werden.

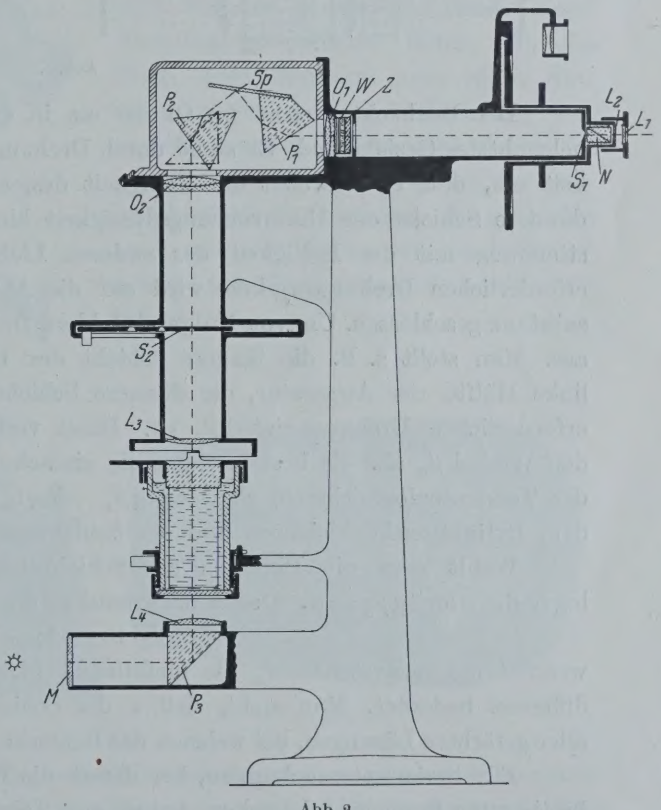


Abb. 2.

Abb. 2 stellt einen Längsschnitt durch den mit Spektraloptik ausgerüsteten Apparat dar. Zur Farbmessung ist ein Flintprismensystem P_1 Sp P_2 mit konstanter Ablenkung vorgesehen. Dieses System ist zusammen mit dem umschließenden Metallgehäuse auswechselbar gegen ein Metallgehäuse mit einfachem in Abb. 2 ebenfalls angedeutetem Reflexionsprisma. In Abb. 2 ist nur das eine der bei der Messung zu vergleichenden Lichtbündel dargestellt. Das zweite Lichtbündel liegt außerhalb der Zeichenebene. Es ist daher in Abb. 3 nochmals der Strahlengang abgebildet, der übersichtshalber ungeknickt und gegen die Darstellung in Abb. 2 um 90⁰ gedreht dargestellt ist, so daß beide Lichtbündel verfolgt werden können. Entsprechende Teile der Optik sind in Abb. 2 und 3 mit den gleichen Bezugszeichen versehen.

Das Prinzip der Messung [1]) besteht darin, daß von der gleichen Lichtquelle aus

[1]) Näheres bei Martens und Grünbaum, *Ann. d. Phys.* **12.** *S. 984 1903.*

Licht durch zwei verschieden dicke Schichten der Untersuchungssubstanz geschickt wird. Das Licht tritt durch das Fenster M in den Apparat ein, wird durch das Prisma P_3 senkrecht nach oben reflektiert (vgl. Abb. 2), durch das Linsensystem L_4 werden zwei parallele Lichtbündel A_1 und A_2 gebildet, welche die Untersuchungssubstanz durchdringen. In Abb. 3 durchdringt das obere Lichtbündel nur eine sehr kurze Flüssigkeitsschicht und tritt dann sofort in den nicht absorbierenden Glaskörper ein, während das untere Lichtbündel einen längeren Weg in der Flüssigkeit zurücklegt. Die durch das Linsensystem L_3 konvergent gemachten beiden Lichtbündel treten durch die Spalte S_2 in die eigentliche Meßvorrichtung ein, deren wesentliche Teile die Spektraloptik $P_1 P_2$ und das Wollastonprisma W mit Zwillingsprisma Z bildet. Im Wollastonprisma wird jedes der beiden Lichtbündel A_1 und A_2 in zwei senkrecht zueinander polarisierten Strahlenbündel A_1^s, A_1^p und A_2^s, A_2^p zerlegt. Die obere Hälfte des Zwillingsprisma Z lenkt die vier Strahlenbündel nach oben, die untere nach unten ab. Von den so entstehenden acht Strahlenbündeln werden nur die beiden zentralen vom Okularspalt durchgelassen. Diese beiden Lichtbündel sind senkrecht zueinander polarisiert. Je eines stammt von dem ursprünglichen Lichtbündel A_1 und von dem ursprünglichen Lichtbündel A_2.

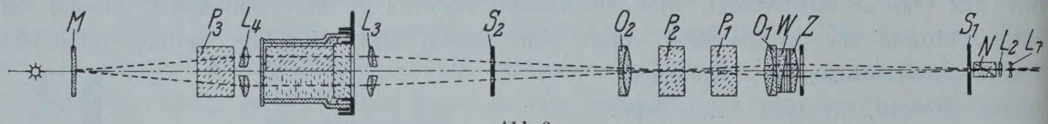


Abb. 3.

Der Beobachter sieht im Okular ein in zwei Hälften geteiltes, verschieden hell beleuchtetes Gesichtsfeld. Er stellt durch Drehung des Analysators N auf gleiche Helligkeit ein, d. h. er schwächt die Helligkeit desjenigen Lichtbündels, welches durch die dünnere Schicht der Untersuchungsflüssigkeit hindurchgegangen war, bis zur Übereinstimmung mit der Helligkeit des anderen Lichtbündels. Aus der Größe des hierzu erforderlichen Drehungswinkels wird auf die Absorptionsfähigkeit der Untersuchungssubstanz geschlossen. Um von Nullpunktfehlern frei zu bleiben, führt man zwei Messungen aus. Man stellt z. B. die längere Schicht der Untersuchungssubstanz zuerst vor die linke Hälfte der Apparatur, die dünnere Schicht vor die rechte Hälfte und liest den erforderlichen Drehungswinkel β_1 ab. Dann vertauscht man die Schichten und liest den Winkel β_2 ab. Es besteht dann die einfache Beziehung, daß die positive Differenz der Tangentenlogarithmen, also $\log \operatorname{tg} \beta_1 - \log \operatorname{tg} \beta_2 = \varepsilon$, d. i. gleich dem Produkt aus dem Extinktionskoeffizienten und der Schichtdickendifferenz d ist.

Wählt man die Differenz der Schichtdicke gleich 1 cm, so ergibt sich direkt $\log \operatorname{tg} \beta_1 - \log \operatorname{tg} \beta_2 = \alpha$. Der Extinktionskoeffizient α ist definiert durch die Gleichung

$$I = I_0 \cdot 10^{-\alpha d}; \quad \varepsilon = \alpha d;$$

wenn I die austretende, I_0 die einfallende Lichtintensität und d die Schichtdickendifferenz bedeutet. Man sieht, daß α der Schichtdicke und auch der Konzentration aller gefärbten Lösungen, bei welchen das Beersche Absorptionsgesetz gilt, proportional ist.

Für Serienuntersuchungen, bei denen die Winkel β_1 und β_2 nur innerhalb eines bestimmten Bereichs schwanken, haben sich Tabellen als praktisch erwiesen, aus denen für jedes abgelesene Winkelpaar β_1 β_2 direkt der entsprechende Wert von α entnommen werden kann.

Praktische Versuche haben ergeben, daß die für die Ausführung der Farbmessungen erforderliche Zeit bei Benutzung des neuen Farbmessers leicht auf $^1/_{10}$ der für solche Messungen bisher nötigen Zeitdauer herabgesetzt werden kann, ohne daß die Genauigkeit der Messung beeinträchtigt wird.

Genauigkeitsuntersuchungen an einem geodätischen Doppelbild-Entfernungsmesser.

Von
Karl Lüdemann in Freiberg-Sa.

1. Die Polarkoordinaten-Methode ist unter den Arbeitsweisen der Katastertechnik, sofern es sich um die bei einem neuzeitlichen Grundeigentumskataster erforderliche große Genauigkeit handelt, eine der jüngsten, denn sie ist erst in den beiden letzten Jahrzehnten, im wesentlichen durch schweizer Vermessungsingenieure, ausgebildet und in die Praxis eingeführt worden. Bei ihr wird der aufzuehmende Punkt von einem Festpunkt aus durch Messen des Richtungswinkels und der Entfernung festgelegt. Die Entfernung wird mit besonderen Geräten mit der Genauigkeit guter Latten- oder Stahlbandmessung ermittelt.

Vom Standpunkt der Wirtschaftlichkeit aus gesehen wird man ein derartiges Gerät dann als besonders zweckmäßig bezeichnen können, wenn ein Theodolit üblicher Bauart und Größe durch Hinzufügen optischer Mittel, die im Ding- oder Bildraum anzuordnen sind, mit möglichst geringer Veränderung dazu einzurichten ist. Instrumente dieser Art gehören zumeist in die Klasse der Doppelbild-Entfernungsmesser. Es sind aber auch gut und genau arbeitende Tachymeter mit Tangentenmeßschraube bekannt.

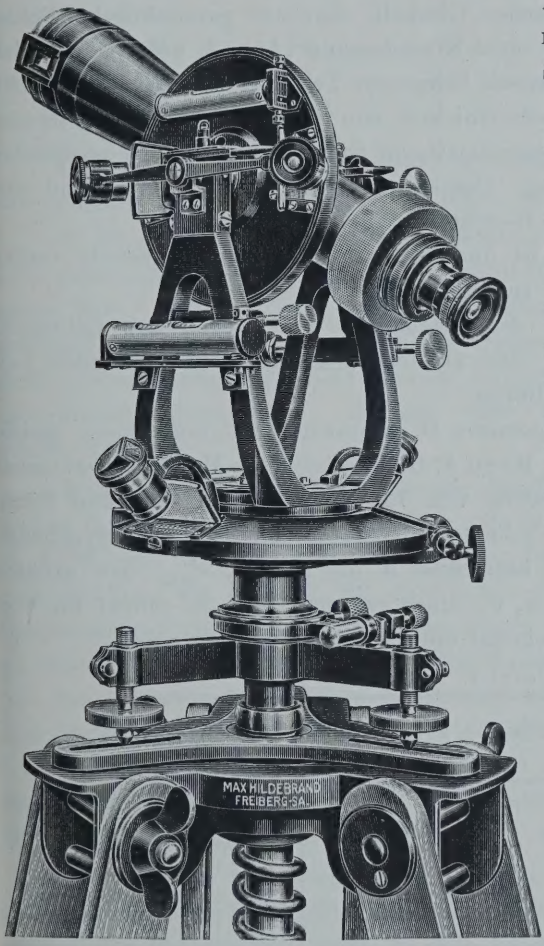


Abb. 1.

Abb. 2.

2. Über astronomisch benutzte Doppelbild-Entfernungsmesser gibt es ein umfangreiches Schrifttum (s. S. 113). Von Zusammenstellungen nenne ich hier nur die von L. Ambronn (**1**, S. 552—620), E. Becker (**2**, S. 137—178) und P. Duckert (**3**, S. 548—555). Einen Überblick über geodätisch gebrauchte Einrichtungen dieser Art gab Fr. Aubell (**4**, S. 40—47), der bei dem von ihm angegebenen und untersuchten Instrument ein zweigeteiltes — durchschnittenes — Objektiv (**4**, S. 67—73) benutzte.

Wichtiger für den geodätischen Gebrauch als die Heliometerkonstruktion ist die Verwendung eines vor dem Objektiv eines Fernrohres angebrachten Glaskeils. Die

Grundlagen hierfür sind in dem D.R.P. Nr. 57027 gegeben, das vom 21. Sept. 1890 ab für einen „Entfernungsmesser mit Latte“ den Engländern Archibald Barr in Glasgow und William Stroud in Leeds erteilt wurde. Einen Erfolg erzielte diese Konstruktion in Deutschland ebensowenig wie diejenige von R. H. Richards (5), auf die 1899 W. Jordan (6) hinwies, da sie sehr genaue Ergebnisse lieferte, und wie andere Versuche. Erst die Nachkriegsjahre brachten Instrumente dieser Art, die von der Vermessungstechnik wirklich aufgenommen wurden. Ich nenne die Konstruktion von A. Aregger (7, 8), R. Bosshardt (9) und H. Wild (10, S. 35—39).

3. Die Konstruktion von A. Aregger, die durch ein D. R. P. und Auslandspatente geschützt ist und nach der der von mir untersuchte Theodolit mit Doppelbild-Entfernungsmesser (Abb. 1) von den Hildebrand-Werkstätten in Freiberg (Sa.) gebaut worden ist, verwendet einen achromatischen Glaskeil, der, um parallaktische Fehler zu vermeiden, so vor dem Objektiv mit einer Klappfassung (Abb. 2) befestigt ist, daß er einen zu einem Durchmesser symmetrisch belegenen Teil des Objektivs überdeckt.

Das abgeschlossene Fernrohr hat ein Objektiv von 40 mm Öffnung mit vermindertem sekundären Spektrum und eine achromatische Schaltlinse. Ein orthoskopisches Okular liefert eine 25fache Vergrößerung. Das ergibt eine AP von 1,6 mm und eine relative Helligkeit von 2,6. Das wahre Gesichtsfeld ist $1^0,3$.

Die Latte, die horizontal gelagert ist und senkrecht zur Zielung gestellt werden kann, erlaubt es, Längen bis zu 140 m zu messen.

Wegen aller weiteren Einzelheiten der Instrumente und wegen des Gebrauchs des ganzen Gerätes nehme ich auf die eine ähnliche Ausrüstung behandelnden Veröffentlichungen von A. Aregger (7, 8) Bezug.

4. Der schweizerische Grundbuchgeometer O. Ammann hat mit einem gleichartigen Doppelbildtachymeter der Firma Kern A.-G. die Gemeinde Madiswil vermessen. Bei der kantonalen Nachprüfung mit Latten von 79 optisch — im Vor- und Rückblick je einmal — gemessenen Längen erhielt man die in der Tafel 1 angegebenen Zahlen (7, S. 223, 8, S. 140—141). Es bezeichnet n die Anzahl, d_{max} den größten Unterschied, m_2 den mittleren Fehler (m. F.) einer zweimal, d. h. je einmal im Vor- und Rückblick, m_1 denjenigen der nur einmal optisch gemessenen Strecke.

Tafel 1.

Mittl. Länge m	n	d_{max} cm	m_2 cm	m_1 cm
15	2	0	± 0	± 0
25	4	1	0,9	1,3
35	6	2	1,5	2,1
45	13	2	1,0	1,4
55	20	3	1,5	2,1
65	16	3	1,6	2,3
75	11	3	1,4	2,0
85	4	2	1,1	1,6
95	2	1	1,0	1,4
105	1	0	0	0

A. Aregger gibt demgemäß den m. F. einer doppelt gemessenen „Distanz von durchschnittlich rund 60 m Länge“ an zu ± 1,35 cm. Die Firma Kern A.-G. sagt (11, S. 7): „Der mittlere Fehler der Messung einer Strecke in einem Blick beträgt je nach der Länge derselben und anderen Umständen etwa 1 bis 3 cm; im Mittel ungefähr 1,5 bis 2 cm.“

A. Aregger hat mir ferner die Ergebnisse von 35 gleichartigen Vergleichungen, die bei der Vermessung der Gemeinde Gelfingen gewonnen worden sind, mitgeteilt. Die Ergebnisse habe ich in Tafel 2 zusammengestellt.

Tafel 2.

Strecken von m	Strecken bis m	n	d_{max} cm	m_2 cm	m_1 cm
10	20	2	2	± 1,4	2,0
20	30	4	1	1,0	1,4
30	40	6	1	1,0	1,4
40	50	10	3	1,8	2,6
50	60	8	2	1,2	1,7
60	70	3	4	2,6	3,7
80	90	1	1	1,0	1,4
90	100	1	0	0	0

Leitet man aus dem gesamten Material einen Mittelwert ab, so hat man für eine mittlere Strecke von 45 m die Werte $m_2 = \pm 1{,}5$ cm und $m_1 = \pm 2{,}1$ cm.

5. Es ist bekannt, daß bei der Messung mit optischen Geräten einseitig wirkende z. T. physiologisch, z. T. psychologisch bedingte Fehler auftreten, die — wenigstens zu einem Teil — durch Übung und straffe Selbsterziehung in ihrer Größe wohl herabgemindert, jedoch nicht ganz beseitigt werden können. Es steht fest, daß diese Fehler nicht unveränderlich, vielmehr sowohl langperiodischen Veränderungen, wie oft auch unvermittelt eintretenden, vielfach nicht unbeträchtlichen Schwankungen unterworfen sind.

Derartige, einseitig das Ergebnis fälschende Fehler machen sich auch bei optischen Entfernungsmessern bemerkbar, wie das Schrifttum deutlich zeigt. R. Boßhardt (**9**, S. 27—30) hat versucht, sie bei seinem Instrument durch besondere Vorrichtungen auszuschalten. Fr. Ackerl (**12**) glaubt, aus seinen besonders zur Prüfung angestellten Beobachtungen mit einem Entfernungsmesser Wild einen persönlichen Fehler ableiten zu sollen, der auf 100 m den praktisch kaum ertragbaren Wert von 5,4 cm erreicht. Aus den von dem persönlichen Fehler und auch von einer etwaigen Unrichtigkeit der Konstanten des Entfernungsmessers Wild befreiten Messungsergebnissen findet er dann für den unregelmäßigen Fehler (**12**, S. 104): „Der relative Fehler der Wildschen Distanzmessung beträgt bei fünfmaliger Wiederholung der Koinzidenzeinstellungen und bei Seitenlängen von 30 m bis 130 m rd. 1 : 4000“.

Es erschien mir wichtig, bei meinen Untersuchungen der Leistung des hier in Rede stehenden Doppelbildtachymeters die Beobachtungen so anzulegen, daß ein persönlicher Fehleranteil erfaßt werden kann. Ich habe daher schon meine ersten Messungen, die ich überhaupt mit einem solchen Gerät vornahm, entsprechend angeordnet, da aus ihnen der Einfluß eines persönlichen Fehlers wohl am leichtesten gefunden werden kann. Die Reihen 1 bis 13 sind also ausgesprochene Anfängermessungen. Bei den Reihen 14 bis 16 hatte ich einige, bei den Reihen 17 bis 28 größere Übung.

Alle Messungen wurden derart angestellt, daß für Längen von 10 bis 135 m mit Metallbolzen bezeichnete Festpunkte geschaffen wurden, deren Entfernungen vom Nullpunkt, dem Standpunkt des Instrumentes, aus mit sehr großer Genauigkeit mit einem Invarband ermittelt wurden. Auf diese Festpunkte wurde jeder einzelne Standpunkt

der Latte ebenfalls mit großer Genauigkeit eingemessen, so daß die Fehler, die bei der Messung der Prüfungslinie und der Einmessung der Lattenstandpunkte begangen wurden, nur sehr gering sind. Die Abweichungen der optischen Längenmessungen von den so gefundenen Sollbeträgen, die dem Beobachter am Instrument selbstverständlich unbekannt waren, konnten daher als wahre Fehler aufgefaßt werden.

Jede Entfernung wurde im allgemeinen nur an einem Nonius abgelesen. Nur bei den Reihen 14 bis 16 und 21 bis 25 wurden beide Nonien benutzt. Bei den Strecken unter 20 m wurde eine an die Latte anzuhängende kleine Hilfslatte verwendet.

In den zuerst gemessenen Reihen 1 bis 13 umfaßt jede Reihe zwölf Einzelmessungen, während in den weiteren Reihen je 20 Einzelmessungen, von denen jede einer besonderen Entfernung entspricht, angestellt wurden. Die einzelnen Strecken einer Reihe liegen bis zu 2 m vor oder hinter der in den Tafeln 3 bis 5 angegebenen mittleren Entfernung. Die äußeren Beobachtungsverhältnisse waren mittlere.

Die Ergebnisse sind in den Tafeln 3 bis 5 zusammengestellt; in ihnen bezeichnet

f_p den aus einer sorgfältigen Ausgleichung nach der M. d. kl. Qu. gewonnenen persönlichen Fehler, der mit seinem m. F. angegeben ist;

m_e den m. F. der einmal in einer Richtung bei Ablesung an einem Nonius gemessenen Strecke;

m_i den m. F. einer Nonienablesung, errechnet aus Ablesungen an den Nonien 1 und 2.

Der m. F. einer Nonienablesung beträgt im Mittel $\pm$ 1,07 cm oder 21% der Angabe.

Tafel 3.

Reihe	Mittlere Entfernuug m	f_p cm		m_e cm
1	11,5	— 1,57	± 0,16	± 0,55
2	20,9	— 1,18	0,25	0,88
3	30,3	— 0,87	0,48	1,65
4	40,3	+ 1,83	0,45	1,55
5	50,5	+ 0,84	0,62	2,15
6	59,4	— 0,14	0,40	1,38
7	70,6	+ 0,99	0,53	1,83
8	81,4	+ 0,68	0,76	2,64
9	89,2	+ 1,11	0,59	2,05
10	99,2	+ 1,40	0,60	2,08
11	108,7	— 1,41	1,23	4,26
12	118,7	— 0,98	1,20	4,16
13	128,2	— 1,11	1,65	5,72

Tafel 4.

Reihe	Mittl. Entfernung m	f_p cm		m_e cm	m_i cm
14	56,4	+ 0,34	± 0,33	± 1,48	± 0,98
15	65,1	— 0,62	0,35	1,56	1,35
16	75,1	+ 0,19	0,40	1,78	1,26

Tafel 5.

Reihe	Mittlere Entfernung m	f_p cm		m_e cm	m_i cm
17	22,8	— 0,87	± 0,16	± 0,73	—
18	30,3	— 0,52	0,24	1,05	—
19	40,2	—0,04	0,26	1,17	—
20	50,1	+ 0,63	0,30	1,32	± 1,02
21	60,7	+ 0,49	0,23	1,01	0,63
22	70,1	+ 1,23	0,36	1,59	0,78
23	80,2	+ 0,98	0,43	1,91	0,94
24	89,9	+ 0,41	0,39	1,73	1,38
25	100,0	+ 1,00	0,44	1,97	1,27
26	110,4	+ 0,19	0,59	2,63	—
27	119,0	— 0,69	0,67	2,99	—
28	129,1	— 0,72	0,87	3,87	—

Der m. unregelmäßige Fehler m_e der einmal gemessenen Strecke ist, wie zu erwarten war, bei den Reihen 17 bis 28 gegenüber den Reihen 1 bis 13 merklich verkleinert. Dem Praktiker ist also zu empfehlen, sich in der optischen Messung mit einem Doppelbild-Entfernungsmesser genügend auszubilden, bevor er das Instrument bei praktischen Messungen anwendet.

Der persönliche Fehleranteil f_p ist bei den Reihen 17 bis 28 ebenfalls verkleinert; er beträgt im absoluten Mittel bei den

Reihen 1 bis 13 1,08 cm, 14 bis 16 0,72 cm, 17 bis 28 0,65 cm.

Merkwürdig ist der Wechsel des Vorzeichens zwischen 30 und 40 m und bei etwa 110 m. Weitere Untersuchungon sollen über die Natur dieses dem einzelnen Beobachter zukommenden Fehlerteils nähere Aufklärung bringen.

Die Genauigkeit einer solchen Messung ist eine recht ansehnliche; sie reicht, wie auch ohne Vergleich mit den in den deutschen Ländern festgesetzten amtlichen Fehlergrenzen gesagt werden kann, für sehr viele Katastermessungen völlig aus. Den Beweis für diese Behauptung werde ich an anderer Stelle geben.

Angezogene Schriften.

1. L. Ambronn, Handbuch der astronomischen Instrumentenkunde. 2. Bd. Berlin 1899.
2. E. Becker, Theorie der Mikrometer und der mikrometrischen Messungen am Himme Breslau 1899.
3. P. Duckert, Mikrometer und Meßapparate. *Diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 443—453, 483—494, 547—555. 1924.*
4. Fr. Aubell, Ein reduzierendes Doppelbild-Tachymeter. *Österreich. Zeitschr. f. Vermw.* ***8.*** *S. 35—47, 67—76, 118—122, 145—153, 197—204, 231—240. 1910.*
5. U. S. A. Pat. Off. Robert H. Richards, Stadia-Rod. Nr. 495232. 11. April 1893.
6. W. Jordan, Prismatische Distanzmesser. *Zeitschr. f. Vermw.* ***28.*** *S. 311—312. 1899.*
7. A. Aregger, Der Doppelbild-Tachymeter Kern. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermw.* ***24.*** *S. 217 bis 223. 1926.*
8. A. Aregger, Der Doppelbild-Tachymeter Kern. *Zeitschr. f. Vermw.* ***56.*** *S. 134—141. 1927.*
9. R. Boßhardt, Das neue Reduktions-Tachymeter. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermw.* ***25.*** *S. 1—9. 25—46. 1927.*
10. S. Bertschmann, Die optische Distanzmessung und ihre Anwendung bei der schweiz. Grundbuchvermessung. Winterthur 1925.
11. Kern, Doppelbild-Tachymeter. J 47. XXVI. 3.
12. Fr. Ackerl, Versuchsmessungen mit dem Wildschen Distanzmesser. *Allg. Verm. Nachr.* ***39.*** *S. 98—104. 1927.*

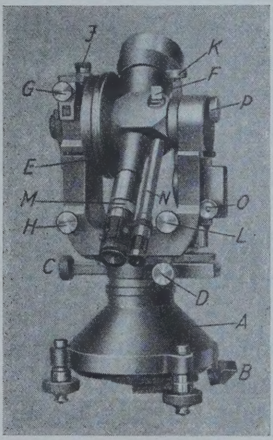
Der neue Präzisions-Theodolit Wild.

Von

P. Werkmeister in Dresden.

H. Wild in Heerbrugg (Schweiz) baut jetzt außer seinem bekannten „Universal-Theodolit“[1]) auch einen für Triangulationen I. und II. Ordnung bestimmten „Präzisions-Theodolit“. Bei dem neuen Instrument werden ebenfalls die zwei gegenüberliegenden Ablesestellen von beiden Kreisen in ein Gesichtsfeld zusammengespiegelt; die Ablesungen erfolgen wie bei dem älteren Instrument mit Hilfe eines optischen Mikrometers mit selbsttätiger Mittelbildung.

Der neue Theodolit hat einen Horizontalkreis mit 140 mm und einen Vertikalkreis mit 95 mm Durchmesser; die Teilungseinheit ist bei beiden Kreisen 4 Minuten, die Ablesungen können unmittelbar auf 0,2 Sekunden und durch Schätzung auf 0,02 Sekunden genau ausgeführt werden. Das überaus leistungsfähige, zum Durchschlagen eingerichtete Fernrohr ist 26 cm lang, hat 60 mm Objektivdurchmesser, und ist mit drei, bequem auswechselbaren Okularen für 24-, 30- und 40fache Vergrößerung ausgerüstet. Die Alhidadenlibelle hat 7 Sekunden und die Vertikalkreislibelle 6 Sekunden Empfindlichkeit für 2 mm Teilungseinheit.



Der wie bei dem kleineren Theodolit aus Glas hergestellte Horizontalkreis ist in dem kegelförmigen Unterbau *A* — vgl. die Abbildung — gegen Staub uud Feuchtigkeit geschützt eingebaut. Die Beleuchtung des Kreises geschieht mit Hilfe des Prismas *B*. Die Verstellung des Horizontalkreises zwischen je zwei Sätzen erfolgt mit Benutzung einer — in der Abbildung nicht sichtbaren — Triebschraube, die durch einen aufklappbaren Deckel gegen Berührungen während der Messung geschützt ist. Die Klemmschraube *C* und die Feinbewegungsschraube *D* für den Horizontalkreis sind bequem angeordnet.

Der ebenfalls aus Glas gefertigte, durch ein Verdeck *E* gegen Beschädigungen geschützte Vertikalkreis wird durch das Prisma *F* beleuchtet. Die Vertikalkreislibelle *G* wird mittelst der Schraube *H* zum Einspielen gebracht; die Beobachtung der Libelle geschieht mit Hilfe des Prismas *J*, in dem die Libellenblase in ihrer Längsrichtung geschnitten erscheint.

Das Fernrohr — mit der Kleinschraube *K* und der Feinbewegungsschraube *L* — ist ein solches mit unveränderlichem Abstand zwischen Objektiv und Fadenkreuz; die Einstellung der inneren Linse erfolgt durch Drehen des Ringes *M*. Das Fadenkreuz oder die Zielvorrichtung im Gesichtsfeld des Fernrohrs besteht aus einem durchgezogenem horizontalen Strich und einem in der Mitte unterbrochenen vertikalen Strich; die eigentliche Zielmarke für die Horizontalwinkelmessung ist ein kurzer vertikaler Strich auf der einen Seite und zwei kurze symmetrische, einen Winkel von etwa 60 Grad einschließende Striche auf der anderen Seite des horizontalen Striches. Das Fernrohr hat — in der Abbildung nicht angegeben — auf beiden Seiten einfache Zielvorrichtungen zum Aufsuchen des Zielpunktes.

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **45.** *S. 353. 1925.*

Unmittelbar neben dem Fernrohrokular befindet sich das Okular für das Ablesemikroskop N, in dessen Gesichtsfeld nach entsprechender Drehung des Knopfes O das eine Mal die Teilung des Horizontalkreises, das andere Mal diejenige des Vertikalkreises erscheint. Die eigentliche Ablesung, bestehend in der Herstellung der Koinzidenzstellung der beiden, unmittelbar übereinander sichtbaren Teilkreistellen, geschieht durch Drehen der Schraube P, deren Trommelteilung im Gesichtsfeld des Mikroskops sichtbar ist. Die Ausführung der Zielungen und der Ablesungen von einem Standpunkt aus ist bei Beobachtungen auf Turm- oder Gerüstpfeilern, wo das Herumgehen um das Instrument Erschütterungen hervorrufen kann, besonders vorteilhaft.

Für steile Zielungen sind zwei Prismen vorhanden, die in gemeinsamer Fassung vor die beiden Okulare des Fernrohrs und des Mikroskops gesetzt werden können.

Die einzelnen Teile des Instruments sind übersichtlich angeordnet, so daß die Handhabung des Instruments bequem und einfach ist. Die Hauptteile des Instrumentes sind aus Stahl gefertigt.

Für Beobachtungen auf Pfeilern ist eine zweckentsprechend ausgebildete Aufstellungsplatte mit Zentrierstift beigegeben. Die Verpackung des Theodolits geschieht in bequemer und sicherer Weise in einem Metallbehälter mit Riemen zum Tragen auf dem Rücken; für Beförderungen mit der Bahn usw. ist eine besondere Verpackungskiste vorgesehen, in der das Instrument gegen Beschädigungen geschützt ist.

Das Instrument ist 10,3 kg schwer, der Metallbehälter wiegt 6,3 kg, das Gewicht des Stativs samt Behälter und Zubehör ist 7,5 kg.

Zur Bestimmung des mittleren Fehlers μ_a einer einmaligen Ablesung am Horizontalkreis, wobei eine solche Ablesung bereits das Mittel aus den Ablesungen an zwei gegenüberliegenden Teilkreisstellen vorstellt, wurde bei drei verschiedenen Kreisstellungen die betreffende Ablesung je zehnmal wiederholt; dabei ergaben sich für μ_a die Werte $\pm$ 0,64″, $\pm$ 0,60″ und 0,45″ oder im Mittel $\mu_a = \pm 0{,}56''$. Für die Bestimmung des mittleren Richtungsfehlers wurden 90 Doppelablesungen ausgeführt; berechnet man aus deren Differenzen den mittleren Fehler μ_a einer einmaligen Ablesung, so erhält man genau denselben Wert, nämlich $\mu_a = \pm 0{,}56''$. Der mittlere Fehler μ_a ist also nicht ganz dreimal so groß als der Wert — 0,2 Sekunden —, der unmittelbar mit Hilfe des Mikrometers abgelesen werden kann.

Für die Bestimmung des mittleren Fehlers μ_r einer einmal gemessenen Richtung wurden drei Zielpunkte (Blitzableiterspitzen) Z_1, Z_2, Z_3 in den Entfernungen 1 km, 2 km und 3 km benutzt. Dabei wurde jeder Zielpunkt rasch hintereinander für jede Fernrohrvergrößerung je zehnmal eingestellt; für jede Einstellung wurden zwei unabhängige Ablesungen am Teilkreis ausgeführt. Für den mittleren Richtungsfehler μ_r ergaben sich dabei die folgenden Werte:

Zielpunkt	Vergrößerung des Fernrohres		
	24fach	30fach	40fach
Z_1	$\pm$ 0,91″	$\pm$ 1,14″	$\pm$ 0,67″
Z_2	$\pm$ 0,83″	$\pm$ 0,68″	$\pm$ 1,12″
Z_3	$\pm$ 1,96″	$\pm$ 0,79″	$\pm$ 0,82″

Da die Beleuchtung der Zielpunkte sehr zu wünschen übrig ließ — die Beobachtungen wurden an einem trüben Herbsttage ausgeführt —, so wurde die ganze Messung an einem zweiten Tage, unter ebenfalls ungünstigen Beleuchtungsverhältnissen wiederholt; dabei wurden die nachstehenden Werte für den mittleren Richtungsfehler μ_r berechnet:

Zielpunkt	Vergrößerung des Fernrohres		
	24fach	30fach	40fach
Z_1	± 0,92″	± 0,68″	± 0,62″
Z_2	± 0,99″	± 1,08″	± 0,78″
Z_3	± 1,20″	± 0,69″	± 0,80″

Wie ein Vergleich zeigt, stimmen die zusammengehörigen Werte teilweise gut überein; zum Teil zeigen sie aber auch starke Abweichungen. Die Zahl der Beobachtungen ist zu klein um eine gesetzmäßige Abhängigkeit des mittleren Fehlers μ_r von der Zielweite feststellen zu können; bildet man deshalb einfach die Mittel aus den drei zusammengehörigen Werten, so erhält man für μ_r die Werte

24fache	30fache	40fache Vergrößerung
± 1,13″	± 0,84″	± 0,80″.

Zur weiteren Untersuchung des Instruments wurde der Winkel zwischen zwei, etwa 1,5 km entfernten Blitzableiterspitzen in sechs verschiedenen Stellungen des Horizontalkreises mit 30facher Fernrohrvergrößerung gemessen; als Mittel der sechs Messungen wurde gefunden 47° 08′ 36,07″. Für den mittleren Fehler μ_w eines einmal gemessenen Winkels ergab sich $\mu_w = \pm 1{,}17''$. Da die Beleuchtungsverhältnisse während der Messung sehr ungünstig waren, so wurde derselbe Winkel — die Stellung des auf einem Pfeiler aufgestellten Instruments wurde nicht verändert — am folgenden Tage unter wieder ungünstigen Verhältnissen erneut sechsmal gemessen; das Mittel aus den sechs Messungen war 47° 08′ 36,48″, also ein um nur 0,41″ anderer Wert. Der mittlere Winkelfehler μ_w war bei dieser zweiten Messung $\mu_w = \pm 1{,}41''$. Die den beiden Werten für den mittleren Winkelfehler μ_w entsprechenden Werte für den mittleren Richtungsfehler μ_r sind ± 0,83″ und 1,00″; sie stimmen mit den oben angegebenen Werten gut überein.

Wie die Ergebnisse der wenigen von mir ausgeführten Messungen — das Instrument stand mir nur für wenige Tage zur Verfügung, so daß insbesondere nicht auf bessere Beleuchtungsverhältnisse gewartet werden konnte — zeigen, ist der neue „Präzisions-Theodolit“ ein hochwertiges Instrument, das für Winkelmessungen im Netz I. und II. Ordnung besonders geeignet ist.

Beitrag zur Entwicklung von Dehnungsmessern kleiner Meßlänge.

Von

Dipl.-Ing. **Kurt Böttcher** in Danzig.

Die vorliegende Arbeit[1]) beschäftigt sich mit einem Gegenstande, der als praktisches Hilfsmittel dazu dient, selbst verwickelte, mathematisch nicht zu erfassende Spannungszustände in Bau- und Maschinenteilen verhältnismäßig einfach auf dem Versuchswege zu ermitteln, und der deshalb in den letzten Jahren — nicht zuletzt aus wirtschaftlichen Gründen — bei den verschiedensten Zweigen der bauenden Technik ein lebhaftes Interesse geweckt hat. Wenn nun auch der Verfasser auf Grund seiner Versuche sich zu der Annahme berechtigt glaubt, mit dem von ihm neu konstruierten Dehnungsmesser einiges zur Erhöhung der Leistungsfähigkeit dieser Hilfsmittel beigetragen zu haben, so ist er sich doch auch bewußt, daß er mit diesem noch nichts Abgeschlossenes, Endgültiges bringen konnte. Dazu reichen die Erfahrungen weniger Jahre nicht aus, viel-

---

[1]) Von der Technischen Hochschule der Freien Stadt Danzig genehmigte Dissertation.

mehr bedarf es dazu noch der Mitarbeit anderer auf gleichem Gebiete tätiger Fachgenossen.

An dieser Stelle sei es mir noch gestattet, allen denen zu danken, die mich bei meiner Arbeit in entgegenkommendster Weise unterstützt haben. Insbesondere gebührt mein herzlichster Dank Herrn Geh. Reg.-Rat Professor Dr. Dr.-Ing. e. h. Lorenz, der mir die Einrichtungen und Hilfsmittel des Festigkeitslaboratoriums der Technischen Hochschule zu Danzig in ausgedehntestem Maße zur Verfügung stellte. Desgleichen bin ich der Helmholtz-Gesellschaft zu Dank verpflichtet, die durch Vermittlung von Herrn Geheimrat Lorenz mit einer Leihgabe die Kosten für die Herstellung des Versuchsmodells übernahm. Herrn Privatdozent Dr.-Ing. Wyss verdanke ich die Überlassung eines Okhuizen-Dehnungsmessers, mit dem ich aus einer großen Anzahl von Versuchen die für eine Neukonstruktion erforderlichen meßtechnischen Erfahrungen sammeln konnte.

I.

Überblick über die bekannt gewordenen Dehnungsmesser kleiner Meßlänge.

Die bisher bekannt gewordenen Dehnungsmesser kleiner Meßlänge, deren man sich zur experimentellen Spannungsuntersuchung an Bau- und Maschinenteilen bedient, haben sich aus den auf dem Hebelprinzip[1]) beruhenden Dehnungsmessern großer Meßlänge entwickelt, die zu Ende des vorigen Jahrhunderts für die Zwecke der Materialprüfung entstanden waren. Bei diesen Instrumenten bildet die an den Versuchskörper gedrückte Schneide den Endpunkt des kurzen Armes eines Hebels, dessen langer Arm in einem physischen oder optischen Zeiger besteht.

Insbesondere bildeten der einhebelige Zeigerapparat von Kennedy[2]) und der Spiegelapparat von Martens[2]) die Grundlage der weiteren Entwicklung. Martens baute schon einhebelige Instrumente mit einer Meßlänge von 10 mm, die allerdings nur zur hauptsächlichen Verwendung an kleinen zylindrischen Probekörpern bestimmt waren. Aber auch zu Spannungsuntersuchungen sind bereits den Martensschen Spiegelapparaten ähnliche, einhebelige Dehnungsmesser mit 8 mm Meßlänge verwandt worden[3]).

Die zweihebeligen Dehnungsmesser kleiner Meßlänge (Abb. 1) sind bisher vorzugsweise als „Spiegelapparate" ausgebildet worden.

Der erste Dehnungsmesser dieser Art war der Spiegelapparat von Preuß[4]), der von Findeisen[5]) und in neuerer Zeit von Geiger[6]) weiter entwickelt wurde.

Ein dieser Gruppe nahestehendes Meßgerät ist das von Rühl[7]) mit verstellbarer

---

[1]) Die bisher für Dehnungsmesser großer Meßlänge angewandten optischen (Mikroskop, Interferenzerscheinungen), elektrischen (Widerstandsänderungen von Kohlesäulen) und akustischen Methoden dürften bezüglich der erreichbaren Dehnungsmeßempfindlichkeit hinter den auf reinem Hebelprinzip beruhenden Meßverfahren zurückbleiben.

[2]) Martens, Handbuch der Materialienkunde, I. Bd., S. 686. (Berlin 1898 bei J. Springer.)

[3]) F. Uber, Zur Erkenntnis des auf Biegung beanspruchten gußeisernen Körpers mit gekrümmter Mittellinie bei Verwendung verschiedener Querschnittsformen (Dissertation Berlin 1922).

[4]) E. Preuß, *Forschungsarb. a. d. Gebiete des Ing.-Wesens, Heft 126 (1912 V. D. I. Verlag)*. Meßlänge der Dehnungsmesser 0,7; 3,3 und 10 mm. Vergrößerung 3440fach bei 1 m Skalenabstand.

[5]) Cl. Findeisen, *Forschungsarb. a. d. Gebiete des Ing.-Wesens, Heft 229 (1920)*. Meßlänge des Dehnungsmessers 9,8 mm; Vergrößerung 3880fach bei 1 m Skalenabstand.

[6]) J. Geiger, Feinmeßgerät für Spannungsmessungen an Maschinenteilen, Techn. Mechanik, Ergänzungsheft der Z. d. V. D. I. 1925. Meßlänge 14,8 mm, Vergrößerung 13400fach bei 1 m Skalenabstand.

[7]) D. Rühl, Experimentelle Ermittelung ebener Verschiebungs- und Spannungszustände auf neuem Wege und Anwendung auf eine durch zwei Nietbolzen gespannte Platte (Diss. Danzig 1918). Vergrößerung des Dehnungsmessers 8650fach bei 1 m Skalenabstand.

Meßlänge, das an Stelle der unteren prismatischen Schneiden der eben erwähnten Instrumente eine Walzenschneide und an Stelle der oberen Prismenschneiden eine Walze benutzt, die durch einen gespannten Faden gedreht wird.

Von den zweihebeligen Zeigerapparaten kleiner Meßlänge waren bis zum Abschluß dieser Arbeit nur die von Okhuizen[1]) bekannt geworden, die zum Teil auch mit selbsttätigen Registriervorrichtungen[2]) versehen und bis zu etwa 1200facher Vergrößerung ausgeführt worden sind. (Meßlängen 10 und 20 mm, bei Verwendung von besonderen Verlängerungsstücken auch größer.)

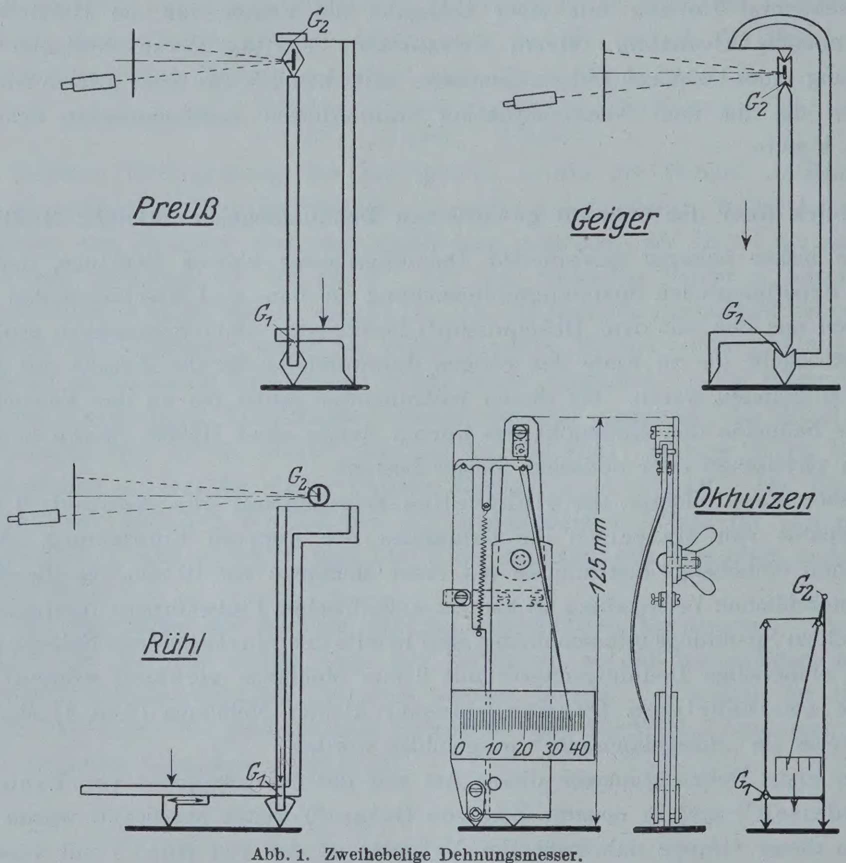


Abb. 1. Zweihebelige Dehnungsmesser.

In neuerer Zeit haben die zweihebeligen Zeigerapparate eine Bereicherung durch den „Tensometer" des Herrn Dr. Huggenberger erfahren[3]). Dieses Instrument, im äußeren Aufbau dem Okhuizen-Apparat ähnlich, ersetzt das von Okhuizen benutzte Kerbenlagergelenk des Schneidenhebels durch ein Schneidengelenk und erzielt die Kupplung von Schneiden- und Zeigerhebel durch einen zwischen zwei Schneidenlager gedrückten „Verbindungsbügel".

[1]) Th. Wyss, Beitrag zur Spannungsuntersuchung an Knotenblechen eiserner Fachwerke (Diss. Zürich 1921). — Probst u. Butzer, Spannungsmessungen an trägerlosen (Pilz-) Deckenkonstruktionen. Der Bauingenieur, Jahrg. 1925, S. 202.

[2]) F. Staeger, (Bericht über eine selbsttätige Schreibvorrichtung des Okhuizen-Dehnungsmessers der Fa. Fueß, Berlin-Steglitz) Z. d. V. D. I. 1927, S. 100.

[3]) R. Wiederkehr, Ein Feinmeßgerät für Spannungsmessungen. *Schweizerische Technische Zeitschrift, Zürich 17. 2. 27.* Meßlänge normalerweise 20 und 10 mm, bei Verwendung von Ersatzschneiden auch kleiner; Vergrößerung 1200fach.

Von einem durch seine Metallamellengelenke bemerkenswerten dreihebeligen Zeigerapparat mit Registriervorrichtung des französischen Ingenieurs Mesnager berichtet eine Druckschrift der Schweizerischen Bundesbahnen[1]). Dieses Instrument hat eine Meßlänge von 5 cm und eine 1050fache Vergrößerung.

II.

An ein Dehnungsfeinmeßgerät zu stellende Anforderungen.

Die Anforderungen, denen ein Dehnungsfeinmeßgerät zu genügen hat, werden zwar je nach der zu lösenden Aufgabe verschieden hoch und vielseitig sein. Immerhin ergeben sich für viele Aufgaben doch gemeinsame Gesichtspunkte, deren Beachtung für den Konstrukteur ebenso wichtig sind wie für den Versuchsingenieur, der die Wahl eines geeigneten Geräts vor Beginn einer meßtechnischen Arbeit zu treffen hat.

Dehnungsmesser kleiner Meßlänge werden vorzugsweise für Spannungsmessungen an eisernen Konstruktionsgliedern Verwendung finden, da man bei Spannungsuntersuchungen an Eisenbetonteilen schon wegen des anders gearteten, aus verschiedenem Korn zusammengesetzten Materials Meßlängen von mindestens 10 cm wählen wird. Dabei werden die Längenänderungen der Meßstrecke trotz der im Bauwerk auftretenden kleineren spezifischen Dehnungen des Betons größer, so daß die Anforderungen an die Meßempfindlichkeit solcher Instrumente entsprechend herabgesetzt werden können. Dennoch gelten die nachstehenden Betrachtungen in den meisten Punkten auch für Dehnungsmeßgeräte, die an Baugliedern aus Stein und Beton Verwendung finden sollen.

1. Die möglichste Beschränkung der Meßlänge wird um so mehr gefordert werden müssen, je kleiner die Abmessungen des Versuchskörpers sind und je stärker die spezifische Dehnung innerhalb der Meßlänge wechselt. Das ist z. B. unter konzentrierten Lasten (Nietbolzen usw.) oder in der Nähe starker Krümmungen, einspringender Ecken usw. der Fall. Ebenso wird die Meßlänge möglichst klein gewählt werden müssen, wenn diese die Sehne einer Körperbegrenzungslinie bildet, z. B. bei Randmessungen an der Innenseite stark gekrümmter Stäbe, an Lochleibungen oder auch bei Messungen auf der gekrümmten Oberfläche von Konstruktionsteilen. Oft wird man allerdings auch mit Vorteil bei derselben Versuchsarbeit an verschiedenen Teilen des Körpers verschiedene Meßlängen wählen können.

Erwähnt sei noch, daß man auch bei Spannungsmessungen an langen Konstruktionsgliedern, z. B. an Fachwerkstäben eiserner Brücken, die Meßlänge nicht zu groß wählen darf. Darauf hat man ganz besonders bei Stäben zu achten, die Krümmungsänderungen ihrer Achse erwarten lassen, um die durch die gemessene Längenänderung der Sehne verursachten Fehler bei der Spannungsberechnung zu vermeiden

2. Die Wahl einer kleinen Meßlänge bedingt in dem Maße der verkleinerten Dehnungen die Vergrößerung der Übersetzung, wenn die Genauigkeit der Spannungsmessung erhalten bleiben soll.

3. Die Erhöhung des Übersetzungsverhältnisses hat aber nur dann praktischen Wert, wenn in dem gleichen Maße auch die Steigerung der Meßempfindlichkeit (Ansprechen auf kleinste Dehnungen, Regelmäßigkeit des Ganges des Übersetzungsmechanismus) gelingt. Denn sonst würden mit den Zeigerausschlägen auch die Fehler vergrößert werden, und es wäre bestenfalls nur eine Verkleinerung der Schätzungsfehler an der Skala erreicht.

[1]) (Schweizerische Bundesbahnen) Beschreibung von Apparaten zur Untersuchung von eisernen und massiven Bauwerken 1922.

Das Übersetzungsverhältnis eines Dehnungsmessers soll also zu seiner Meßempfindlichkeit in einem angemessenen Verhältnis stehen. Eine übertrieben starke Vergrößerung täuscht leicht eine nicht vorhandene Meßgenauigkeit vor.

4. Ein sehr gutes Kriterium für die eben verlangte Meßempfindlichkeit ist wegen seiner meist gleichen Herkunft der tote Gang, der sowohl von dem Spiel, als auch von der Reibung in den Gelenken, schließlich aber auch von Klemmungen beweglicher Teile herrühren kann. Er zeigt sich bei der Aufnahme der Lastdehnungskurve eines Materials, das selbst frei von innerer Reibung (elastischer Hysteresis) ist, darin, daß die Kurven für Be- und Entlastung auseinandergezogen werden (Abb. 2).

Bei der für Massenmessungen bequemsten Art der Dehnungsmessung durch Ablesung der Ausschläge an den Lastwechselpunkten entsteht dadurch für die Messung ein absoluter Fehler in der Größe des toten Ganges t, indem statt der wahren Dehnung δ die scheinbare δ' für die Laststufe ΔP abgelesen wird (s. Abb. 2).

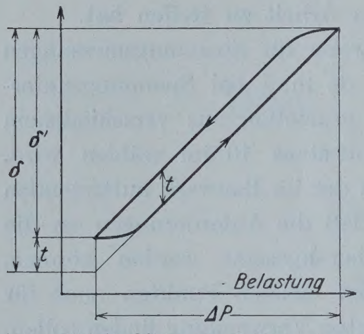


Abb. 2. Schleifenbildung der Dehnungskurven als Folge des toten Ganges bei rein elastischer Verformung des Materials.

Zur Ausschaltung dieses Fehlers könnte man die Dehnungen aus der Differenz von Ablesungen bilden, die bei Belastungen in demselben Sinne gemacht wurden. Dazu ist aber, abgesehen von der verdoppelten Anzahl der Einstellungen bzw. Ablesungen an Kraft- und Dehnungsmessern und dem sich daraus ergebenden Anwachsen des schon an sich oft übergroßen Zahlenmaterials, eine Lastreserve nötig, deren Größe von der auf der Körperoberfläche punkt- und richtungsweise wechselnden spezifischen Dehnung abhängig ist. Da die gesamte Dehnungsreserve mindestens gleich der Größe t des toten Ganges oder besser gleich $2t$ sein muß, weil die Dehnungskurven allmählich in die Gerade überzugehen pflegen, können Dehnungen unter dieser Größe überhaupt nicht gemessen werden.

Schließlich könnte man bei genügend großen Dehnungen den Wert t auch durch Zwischenablesungen bei derselben Laststufe ermitteln. Aber abgesehen davon, daß dieses Meßverfahren die Zahl der Lasteinstellungen und Ablesungen um die Hälfte erhöht, also mehr Zeit kostet als das zuerst erwähnte, kann damit die Fehlergröße t auch nur annähernd bestimmt werden, denn mit dem Auftreten des toten Ganges ist meist auch wegen der gleichen Ursache der Reibung eine entsprechende Unregelmäßigkeit des Ganges verbunden.

Die beiden Forderungen: Verringerung des toten Ganges und Erhöhung der Meßempfindlichkeit laufen also parallel. Ihre Erfüllung ist eine der schwierigsten Aufgaben bei der Weiterentwicklung der Dehnungsmesser kleiner Meßlänge, deren Lösung — wie oben betont — der Vergrößerung des Übersetzungsverhältnisses vorauszugehen hat.

5. An die Lösung dieser Aufgabe ist aber die Bedingung möglichster Unempfindlichkeit gegen äußere Einflüsse aller Art zu knüpfen: Widerstandsfähigkeit gegen ungewolltes Anstoßen, gegen Staub, Witterungseinflüsse, Erschütterungen[1]) beim

---

[1]) Wie weit z. B. eine hohe Empfindlichkeit gegen geringste Erschütterungen auf die Meßarbeit einwirken und den Wert einer starken Vergrößerung durch die Unmöglichkeit des Ablesens der Zehnteleinheit einer vibrierenden Skala herabmindern kann, geht aus den Berichten von Uber und Bruch über die von ihnen benutzten Preußschen bzw. Rühlschen Dehnungsmesser hervor. (Siehe Fußnote S. 9 und W. Bruch, Versuche über die Isotropie von Flußeisen. Diss. Danzig 1923.)

Messen usw. Wichtig ist also die geschützte Lage empfindlicher Teile, die geringe Abnutzbarkeit der Schneiden und Gelenke, demnach die Wahl besten Materials.

6. Eine wesentliche Bedingung ist ferner die Handlichkeit, einfache und schnelle Bedienbarkeit des Geräts, insbesondere der Befestigungsmittel zur Abkürzung der Versuchszeiten.

7. Wichtig ist auch die Verwendbarkeit des Instruments in allen Raumstellungen entsprechend den verschieden geneigten Flächen des Versuchskörpers.

Weitere wertvolle Eigenschaften praktisch brauchbarer Dehnungsmesser sind:

8. Zugänglichkeit zu allen Punkten der zu vermessenden Körperoberfläche, entsprechende Beschränkung der Abmessungen,

9. geringer Platzbedarf für das gesamte Meßgerät,

10. Störungsfreiheit der Messungen von den Befestigungsmitteln,

11. bequeme und sichere Ablesbarkeit der Skalen,

12. genaue Ansetzbarkeit, insbesondere bei Punktvermessungen nach dem vortrefflichen Wyssschen[1]) Verfahren.

Diese Forderung ist ganz besonders da zu erfüllen, wo die Dehnungen einer Richtung von Punkt zu Punkt oder aber bei demselben Punkt mit der Richtung stark wechseln. Demnach ist also sowohl die genaue Zentrierung auf einen Punkt als auch die genaue Orientierung nach der Meßrichtung zu gewährleisten.

13. Zu fordern ist ferner ein fester, möglichst stabiler Sitz in jeder Meßstellung.

14. Vorteilhaft ist auch ein stabiles Gleichgewichtssystem des Übersetzungsmechanismus, damit dieser auch bei den größten Auslenkungen seinen Zusammenhalt bewahrt.

15. Erwünscht ist ferner die Messung der Längenänderung in derselben Faser durch Verwendung von nur zwei an den Versuchskörper gedrückten Schneiden. Das ist z. B. wichtig für die Messung von Randspannungen. Bei dreipunktigem[2]) Spitzenansatz des Dehnungsmessers ist die direkte Dehnungsmessung der Randfasern erschwert, in manchen Fällen unmöglich. Bei vorhandenem Platz für die drei Stützpunkte erhält man aber auch nur dann richtige Dehnungswerte für die Faser der Meßrichtung, wenn die zwischen den die Grundlinie bildenden Schneiden des Dehnungsmessers gezogene Gerade während der Deformation gerade bleibt, was im allgemeinen nicht der Fall ist und das Meßergebnis in unerwünschtem Maße fälschen kann.

16. Für manche Aufgaben (Dehnungsmessungen an sehr dünnen und leichten Körpern) werden ein geringes Gewicht und kleiner Anpressungsdruck verlangt damit die lokalen Spannungen nicht beeinflußt werden.

17. Schließlich sollen auch noch möglichste Einfachheit und ein geringer Preis des gesamten Meßgerätes dieses auszeichnen.

Alle diese Forderungen, zu denen je nach der Natur der meßtechnischen Aufgabe noch andere hinzukommen können und die sich teilweise entgegenstehen, haben in ihrer Gesamtheit wohl noch von keinem Dehnungsmesser erfüllt werden können. Es werden daher in jedem Falle die zu stellenden Bedingungen in ihrer Bedeutung

[1]) Vier Messungen (davon eine Kontrollmessung) in um je 45^0 gegeneinander geneigten Richtungen um den Mittelpunkt eines Kreises, der die Oberfläche des zu vermessenden Körperelements begrenzt (s. Fußnote S. 11).

[2]) Messung der Bewegung einer Schneide gegen eine durch zwei andere Stützpnnkte gebildete Grundlinie.

für die Erreichung des gesteckten Zieles gegeneinander abgewogen werden müssen, bevor die Wahl des zweckmäßigsten Meßgerätes getroffen wird.

Inwieweit die bisher bekannt gewordenen Dehnungsmesser den oben gestellten Forderungen gerecht werden, läßt sich zuverlässig nur aus der Meßerfahrung mit den betreffenden Instrumenten heraus beantworten, da die Veröffentlichungen nicht immer die für einen Vergleich ausreichenden Angaben über die Arbeitsweise und Fehlergrößen enthalten.

Es wäre aber eine im Interesse der Entwicklung der Instrumente dankbare Aufgabe, vergleichende Versuche mit den auf dem Hebelprinzip beruhenden Dehnungsmessern kleiner Meßlänge vorzunehmen, um von den verschiedenen konstruktiven Mitteln und Vorschlägen die brauchbarsten in einem möglichst vollkommenen Instrument zu vereinigen.

III.

Physischer oder optischer Zeiger?

Eine wesentliche Rolle bei der Verwendung eines Dehnungsmessers kleiner Meßlänge spielt die Frage: optischer oder physischer Zeiger?

Für einhebelige Dehnungsmesser, die den mehrhebeligen gegenüber den Vorzug einer geringeren Anzahl von Fehlerquellen haben, kommt nur der optische Zeiger in Betracht, dessen Länge zur Erzielung möglichst großer Ausschläge recht groß gewählt werden muß.

Da die Kenntnis des günstigsten Skalenabstandes für die Messung sehr kleiner Drehwinkel, wie sie auch bei Verwendung von fest mit dem Versuchskörper verbundenen Spiegeln vorkommen, von Bedeutung ist und in der Literatur manchmal von übermäßig großen Abständen gesprochen wird, sei diese Frage hier erörtert.

Die Begrenzung des praktisch brauchbaren Fernrohrabstandes ist nicht allein durch den verfügbaren Raum für die Versuchsanordnung bedingt. Fernrohrabstände von 10 oder gar mehr als 20 m, wie sie schon zur Erhöhung der Genauigkeit, dazu noch bei ungefähr gleichem Standort für Skala und Fernrohr, versucht wurden, verfehlen nicht nur bei den zur Verfügung stehenden üblichen Fernrohren den gewünschten Zweck, sondern bewirken eher noch das Gegenteil.

Denn zwei wichtige optische Faktoren, die Vergrößerung des Fernrohres und die Lichtstärke des Skalenbildes, bedingen eine obere zweckmäßige Grenze des Skalenabstandes.

Die üblichen Fernrohre für Spiegelmeßgeräte haben eine rund zwanzigfache Vergrößerung und ermöglichen die Schätzung der Zehntelmillimeter eines gut beleuchteten Millimetermaßstabes noch bei einem Abstand von 4 m. Vereinigt man Fernrohr und Skala in üblicher Weise auf einem Gestell, so kommt für die Schätzung der Zehntelmillimeter mit Rücksicht auf den Strahlengang des Lichtstrahles ein maximaler Skalenabstand von 2 m in Betracht.

Die stärkste Vergrößerung der für die Zwecke der Dehnungsmesser in Frage kommenden größten Nivellierinstrumente ist eine rund 50fache. Bei dieser Vergrößerung kann man die Zehntelmillimeter noch auf eine Entfernung von 10 m schätzen. Stellt man nun zur Erzielung eines möglichst großen, praktisch verwendbaren Skalenabstandes das Fernrohr unmittelbar (etwa 1 m) vor dem Spiegel des Instrumentes auf, so ergibt sich ein maximaler Skalenabstand von etwa 9 m, bei dem es noch mit einer gewissen Sicherheit gelingt, die Zehntelmillimeter zu schätzen, aber auch nur bei aus-

reichender Lichtstärke des Skalenbildes, die ihrerseits wieder von Fernrohr, Spiegelgröße und Beleuchtung des Skalenbildes abhängt.

Solange die Objektivöffnung des Fernrohres größer ist als der Querschnitt des von dem Spiegel kommenden divergenten Lichtstrahlenbündels, was bei nicht allzu großen Spiegeln meistens der Fall sein wird, wird die Lichtstärke des Bildes durch die Beleuchtung der Skala und die Größe des Spiegels bedingt (Abb. 3).

Dieser wirkt ähnlich wie die Blendenöffnung einer photographischen Kamera, indem er den Querschnitt des von der Skala ins Fernrohr gelangenden Strahlenbildes und damit die Lichtmenge bestimmt.

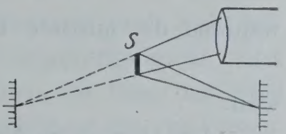


Abb. 3. Begrenzung des Strahlenbündels durch die Spiegelgröße.

So kann man z. B. mit einem Spiegel von normaler Größe (Martens-Apparat) selbst bei Verwendung einer durch stärkstes direktes Lampenlicht beleuchteten Skala längst nicht mehr die mit Rücksicht auf die Schätzbarkeit der Zehntelmillimeter möglichen Fernrohrabstände großer Nivellierinstrumente ausnutzen, weil das Skalenbild zu dunkel wird.

Allgemein ergibt sich zur Erzielung größter Ablesegenauigkeit diejenige größte Entfernung des Skalenabstandes als Optimum, bei der noch die Schätzung der Zehnteleinheit des benutzten Maßstabes gelingt, die man mit Rücksicht auf genügende Lichtstärke und zur Erzielung kleiner handlicher Spiegel und Fernrohrabstände möglichst klein wählen soll (Beschränkung durch die scheinbare Stärke des Fadenkreuzes). Bei größeren Abständen nimmt die Meßgenauigkeit ab, weil die Schätzungsfehler wegen der Verringerung der Lichtstärke mehr zunehmen als die Vergrößerung des Übersetzungsverhältnisses.

Für die mehrhebeligen Dehnungsmesser kleiner Meßlänge kommen sowohl optische als auch physische Zeiger in Betracht.

Wählt man bei ihnen den ersteren, so geschieht das mit Rücksicht auf seine große Länge, die in zweifacher Beziehung zur Steigerung der Meßgenauigkeit dienen kann.

Zunächst kann dem optischen Zeiger ein möglichst großer Anteil an dem Übersetzungsverhältnis zugewiesen werden, um die von dem mechanischen Teil des Übersetzungsmechanismus herrührenden unvermeidlichen Fehler durch günstige Wahl der Hebellängen zu verringern. Je kleiner die kurzen Hebelarme sind, desto stärker wirken sich mögliche Längenänderungen (z. B. infolge der Abnutzung der Schneiden) aus. Mangels ausreichender Erfahrungen über das Maß solcher Veränderungen läßt sich ihr Einfluß nur theoretisch bestimmen. Jedenfalls sind bei ausgedehnten Meßarbeiten gelegentliche Nachprüfungen des Übersetzungsverhältnisses angebracht.

Des weiteren kann mit Hilfe des optischen Zeigers die Ablesegenauigkeit auf ein sehr hohes Maß gebracht werden. Da der Ablesefehler eines Instrumentes aber nur einen von den vielen zufälligen Elementarfehlern darstellt, die sich zu dem Gesamtfehler der Messung zusammensetzen, so sind seine Bedeutung und sein Einfluß auch von der Größe der übrigen Fehler abhängig.

Zahlenmäßig läßt sich für ein gegebenes Instrument der durch den optischen Zeiger erreichbare Gewinn an Ablesegenauigkeit durch die Differenz der mittleren Fehler des Instruments ausdrücken, das einmal mit optischem, das andere Mal mit physischem Zeiger arbeitet.

Bezeichnet

μ_i den mittleren Fehler einer Einzelmessung, der nur von den zufälligen (sachlichen) Unregelmäßigkeiten des Übersetzungsmechanismus herrührt,

μ_s' den mittleren (persönlichen) Schätzungsfehler einer Dehnungsmessung des Beobachters an der Fernrohrskala,

μ_s den mittleren Schätzungsfehler desselben Beobachters an der Zeigerskala,

so erhält man, wenn man alle diese auf die gleiche Einheit bezogenen Fehler als gleich zufällige Beobachtungsfehler ansieht, den mittleren Fehler der Messung bei Verwendung der Fernrohrskala zu

$$\mu_F = \sqrt{\mu_i^2 + \mu_s'^2},$$

während der mittlere Fehler der Zeigerskala

$$\mu_Z = \sqrt{\mu_i^2 + \mu_s^2}$$

wird.

Der Gewinn an Ablesegenauigkeit für das Instrument durch den optischen Zeiger beträgt dann

$$\Delta\mu = \mu_Z - \mu_F = \sqrt{\mu_i^2 + \mu_s^2} - \sqrt{\mu_i^2 + \mu_s'^2}.$$

Setzt man nun den mittleren Schätzungsfehler an der Fernrohrskala $= 0$, so daß also $\mu_F = \mu_i$ wird, und legt man der weiteren Rechnung die mittleren Fehler für den in dieser Arbeit entwickelten Dehnungsmesser zugrunde,

$$\mu_F = \mu_i = 0{,}012 \cdot 10^{-3}\ \text{mm},$$
$$\mu_s = 0{,}018 \cdot 10^{-3}\ \text{mm},$$

so wird mit

$$c = \frac{\mu_i}{\mu_s} = 0{,}67$$
$$\Delta\mu = \mu_s(\sqrt{1+c^2} - c) = 0{,}53\,\mu_s = 0{,}0096 \cdot 10^{-3}\ \text{mm},$$

entsprechend einer Eisenspannung von rund 2 kg/cm². Diese Verkleinerung des mittleren Fehlers des Instrumentes durch den optischen Zeiger ist von der Größe der Messungen unabhängig.

Da nun bei den praktischen Messungen noch zahlreiche andere Fehler auftreten (ungenaue Lastangabe, ungenaues Ansetzen nach Punkt und Richtung, Temperatur, Schwankungen der Meßlänge und des Übersetzungsverhältnisses in Kraftmaschine und Dehnungsmesser, systematische Fehler usw.), deren Einfluß mit der Größe der Dehnungen wächst, so wird die oben errechnete Verkleinerung des mittleren Fehlers noch unbedeutender, und es erscheint für Verhältnisse wie die des vorliegenden Apparates durchaus fraglich, ob der verhältnismäßig kleine Einfluß des optischen Zeigers auf das Meßergebnis, der in den meisten Fällen von den anderen Fehlern schon bei mittleren Eisenspannungen übertroffen werden dürfte, den Aufwand des optischen Geräts rechtfertigt, um so mehr, als die Verwendung eines physikalischen Zeigers mehrere beachtenswerte Vorzüge mit sich bringt.

Sollte es in Sonderfällen bei der Messung kleinster Dehnungen (etwa von $0{,}5 \cdot 10^{-3}$ mm abwärts, entsprechend 100 kg/cm² Eisenspannung bei 1 cm Meßlänge) auf eine erhöhte Genauigkeit ankommen, so wird wegen der praktischen Begrenzung der rein mechanischen Vergrößerung nach entsprechender Erhöhung der Meßempfindlichkeit ein optischer Zeiger gewählt werden müssen.

Der physische Zeiger gibt dem Meßgerät große Einfachheit und leichte Bedienbarkeit. Er erspart die für das Herstellen des optischen Zeigers benötigte Zeit, was besonders für den nicht ständig mit solchen Messungen Beschäftigten und daher weniger Geübten ins Gewicht fällt. Die Unabhängigkeit der Zeigerausschläge von räumlichen Bewegungen der Versuchseinrichtung ermöglicht die Feststellung des Deh-

nungswertes aus der Hälfte der bei einem Spiegelapparat erforderlichen Ablesungen (Fortfall der Raumspiegelkorrekturen). Auch dies bedeutet schon beim Messen und Auswerten einen Zeitgewinn, der bei der Erforschung des gesamten Spannungsverlaufes und den hierbei unvermeidlichen Massenmessungen erwünscht ist. Ein Zeigerapparat gestattet auf kleinstem Raum und mit Hilfe eines kleinen Handspiegels in jeder Raumstellung eine Ablesung, was besonders dann von Wert ist, wenn die allseitige Aufstellungsmöglichkeit der Fernrohre für ein Spiegelinstrument fehlt.

Wenn die Zeigerapparate trotz dieser Vorzüge in Deutschland noch nicht allgemein das Vertrauen genießen, das den Spiegelinstrumenten entgegengebracht wird, und sie deshalb noch keine große Verbreitung gefunden haben, so liegt das wohl hauptsächlich daran, daß die Empfindlichkeit und Meßgenauigkeit ihrer bis vor kurzem allein bekannt gewordenen Vertreter, der Okhuizen-Apparate, noch verhältnismäßig beschränkt geblieben war[1]). Gelingt es aber, diese zu steigern, so dürften die Zeigerapparate wohl mehr als bisher Eingang in die Versuchsforschung finden und diese beleben.

Im folgenden ist hierzu ein Versuch unternommen worden.

(Fortsetzung folgt.)

Integration vermittels des Kurvimeters.

(Zweite Mitteilung.)

Von

Hans Schwerdtfeger in Göttingen.

In einer früheren Mitteilung[2]) wurde unter dem gleichen Titel eine Methode angegeben, welches in gewissen praktisch vorkommenden Fällen erlaubt, eine Quadratur durch eine Längenmessung zu ersetzen. Prinzipiell ist dies immer dann möglich, wenn die zu integrierende Funktion $f(x)$ so beschaffen ist, daß sich eine andere Funktion $\varphi(x)$ von der allgemeinen Form (I, 2) angeben läßt, wobei es auf eine additive Konstante nicht ankommt. Naturgemäß ist die Anzahl der Fälle, in denen das Verfahren anwendbar ist, beschränkt, und zwar aus formal rechnerischen Gründen. Es soll nun angegeben werden, wie man das Verfahren durch weitgehende Verallgemeinerung auf eine größere Anzahl von Fällen ausdehnen kann.

Bisher war angenommen worden, daß das Koordinatensystem, in dem die zu messende Kurve dargestellt wird, ein rechtwinkliges, mit geradlinigen und gleichmäßigen Koordinatenskalen[3]) ist. Zu allgemeinerer Anwendbarkeit gelangt man, indem man zur Darstellung in Koordinatensystemen mit ungleichmäßigen Koordinatenskalen übergeht. Wie in dem einfachen, in (I) behandelten Falle muß es sich auch hier um eine geeignete Bestimmung der Funktion handeln, deren Bildkurvenlänge gemessen werden soll.

Zu berechnen sei wieder das Integral

$$\int_a^b f(x)\,dx, \qquad 1)$$

wobei x, y wieder die Koordinaten in einem gewöhnlichen rechtwinkligen ebenen Koordinatensystem mit gleichmäßigen Skalen sind. Dann seien

$$\xi = \varphi_1(x), \qquad \eta = \varphi_2(y) \qquad 2)$$

---

[1]) Vgl. Cl. Findeisen, Unterschied in der Empfindlichkeit zwischen Zapfenlagerung und Schneidenlagerung bei Dehnungsmessern. *Die Bautechnik. Jahrg. 1925. S. 89.*

[2]) Vgl. *diese Zeitschr.* **47**. *S. 544. 1927,* im folgenden durch (I) zitiert.

[3]) Vgl. C. Runge, Graphische Methoden. S. 46 ff.

zwei Funktionen, die beschaffen sind, daß in den in Frage kommenden Intervallen die zugehörigen Umkehrfunktionen

$$x = p_1(\xi), \qquad y = p_2(\eta) \tag{3}$$

einmal stetig differenzierbar sind. Damit kann man das zu berechnende Integral zunächst schreiben in der Form

$$\int_{\alpha}^{\beta} f[p_1(\xi)]\, p_1'(\xi)\, d\xi . \tag{4}$$

Durch die Gln. 2) oder 3) ist der Übergang zu den ungleichmäßigen Skalen des ξ, η-Systems gekennzeichnet. Der Strich $'$ deutet hier, wie im folgenden immer eine Differentiation nach ξ an.

Es werde nun angenommen, daß zwischen x- und y-Werten eine gewisse stetig differenzierbare funktionale Beziehung besteht; ist dies der Fall, so gilt auch Entsprechendes für die ξ- und η-Werte (vermöge 2)). Dann ist bekanntlich die Bogenlänge zwischen den Abszissen a, b darstellbar durch

$$s = \int_a^b \sqrt{dx^2 + dy^2}\,.$$

Nehmen wir dann vorläufig an, daß die erwähnte, zwischen ξ und η bestehende Beziehung,

$$\eta = g(\xi)\,, \tag{5}$$

auch eine einmal stetig differenzierbare Funktion, ist, und setzen wir, was auf Grund von 5) immer möglich ist,

$$p_2(\eta) = p_2[g(\xi)] = \bar{p}_2(\xi), \tag{6}$$

so kommt mit

$$\alpha = \varphi_1(a), \qquad \beta = \varphi_1(b),$$

$$s = \int_{\alpha}^{\beta} \sqrt{[p_1'(\xi)]^2 + [\bar{p}_2'(\xi)]^2}\; d\xi\,. \tag{7}$$

Nun handelt es sich noch um eine zu dem Integrationsproblem passende Ermittlung der Funktion $\eta = g(\xi)$; man bekommt zur Bestimmung derselben eine ganz einfache Differentialgleichung, deren Integration in speziellen Fällen durchführbar ist. Mit Rücksicht auf den Ausdruck 4) machen wir den Ansatz:

$$[p_1'(\xi)]^2 + [\bar{p}_2'(\xi)]^2 = \{f[p_1(\xi)]\cdot p_1'(\xi)\}^2, \tag{8}$$

worin schon die gesuchte Differentialgleichung enthalten ist. Setzen wir nun zur Abkürzung

$$\left.\begin{aligned} r(\eta) &= \frac{d\,p_2(\eta)}{d\eta} \\ &\text{und} \\ q(\xi) &= p_1'(\xi)\sqrt{\{f[p_1(\xi)]\}^2 - 1}\,, \end{aligned}\right\} \tag{9}$$

so kommt wegen

$$\bar{p}_2'(\xi) = r[g(\xi)]\cdot g'(\xi)$$

an Stelle von 8)

$$q(\xi)\cdot d\xi - r(\eta)\cdot d\eta = 0\,, \tag{10}$$

eine gewöhnliche Differentialgleichung erster Ordnung deren Lösbarkeit durch die bekannten Funktionen q und r bedingt ist. Die gesuchte Funktion ist η.

Das allgemeine Integral der Gleichung 10) ist darstellbar in der Form

$$Q(\xi) + R(\eta) = c\,, \tag{11}$$

unter c eine willkürliche Konstante verstanden. Der Rest der Aufgabe besteht dann

noch darin, vermittels dieser Gleichung 11) die Größe η explizit in Abhängigkeit von ξ darzustellen; man hat auf diese Weise die gesuchte Funktion $g(\xi)$ ermittelt.

Schließlich ist dann in dem ξ, η - Koordinatensystem mit den ungleichmäßigen Skalen die Bildkurve der Funktion $\eta = g(\xi)$ zu zeichnen und ihre Länge zwischen den Abszissen $\xi = \alpha$ und $\xi = \beta$ vermittels eines Kurvimeters zu messen. Die so erhaltene Zahl, die Länge des Kurvenbogens in der gleichen Einheit, die auch dem x, y-System zugrunde gelegt worden ist, gemessen, ist der Wert des bestimmten Integrals 1).

Ich bemerke, daß sich das Verfahren noch nach einer ganz anderen Richtung hin verallgemeinern läßt. Man kann nämlich, anstatt der Betrachtung ein kartesisches, rechtwinkliges Koordinatensystem zugrunde zu legen, auch auf einem anderen, etwa einem ganz allgemeinen krummlinigen Koordinatensystem basieren.

Die nächstliegende, teilweise Verallgemeinerung in dieser Hinsicht wäre der Übergang zu Polarkoordinaten, ϱ, ϑ. Die zu integrierende Funktion sei

$$\varrho = f(\vartheta). \qquad 12)$$

Die Integration kann man nur dann auf eine Längenmessung reduzieren, wenn die allgemeine Integration der Funktion $\psi\,(\vartheta)$, welche mit der erstgenannten durch die Gleichung

$$f(\vartheta) = \sqrt{[\psi(\vartheta)]^2 + [\psi'(\vartheta)]^2} \qquad 13)$$

verbunden ist, durchführbar ist. (Hier bedeutet der Strich $'$ eine Differentiation nach ϑ.) Die Gl. 13) ist wiederum eine Differentialgleichung zur Ermittlung der Funktion ψ. Integration derselben ist wieder nur in einigen besonderen Fällen möglich.

Die Bogenlänge der Bildkurve der Funktion $\bar{\varrho} = \psi(\vartheta)$ in dem angenommenen Polarkoordinatensystem zwischen den vorgegebenen Grenzen von ϑ ergibt wieder den Wert des Integrals

$$\int_{\vartheta_1}^{\vartheta_2} f(\vartheta)\, d\vartheta. \qquad 14)$$

Die Durchführung der entsprechenden Betrachtung für die allgemeinsten krummlinigen Koordinaten soll in einer weiteren Mitteilung geschehen.

Thermo-Wattmeter für geringen Leistungsfaktor und für Hochfrequenz.

Von

E. Kühnel in Berlin-Niederschönhausen.

Dem Bedürfnis nach Wattmetern für die Messung bei geringen Leistungsfaktoren genügen die für diesen Zweck besonders geschaffenen Spezialinstrumente vollkommen, wenn sich der Leistungsfaktor in der Größenordnung bis herab zu etwa 0,1 bewegt; z. B. gibt das Weston-Wattmeter, Modell 310, Form 2 (Abb. 1), schon bei $\cos\varphi = 0{,}2$ einen vollen Skalenausschlag. Handelt es sich aber um wattmetrische Messungen bei noch kleinerem Leistungsfaktor, wie sie z. B. bei manchen Leerlaufsversuchen, dielektrischen Messungen, bei Fehlerbestimmungen in Kabeln oder ähnlichem vorkommen, so verwendete man bisher hochempfindliche dynamometrische Instrumente, z. B. astatische Dynamometer mit Fadenaufhängung. Diese sind naturgemäß recht diffizil und beanspruchen eine besonders sorgfältige Aufstellung und Behandlung. Macht sich dieser Übelstand schon bei Untersuchungen in wissenschaftlichen Laboratorien unangenehm bemerkbar, so erst recht in praktischen Betrieben, z. B. in den Prüffeldern der Maschinen- und Kabelfabriken, in Elektrizitätswerken usw. Kabelprüfungen auf der

Strecke sind mit derartig empfindlichen Instrumenten nur mit den größten Schwierigkeiten und unter Beachtung besonderer Vorsichtsmaßregeln möglich.

Weiterhin ist die hohe Selbstinduktion dieser Instrumente bei vielen Messungen störend und erfordert umständliche Rechnungen und Korrektionen.

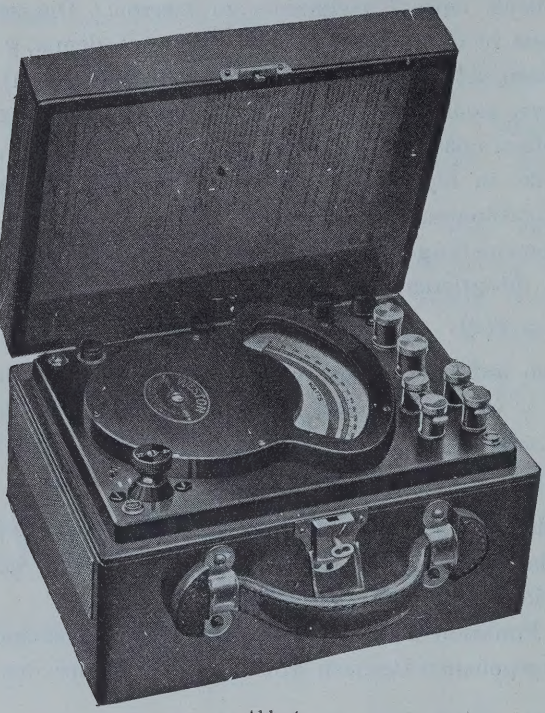


Abb. 1.

Für solche Messungen verwendet man mit Vorteil ein auf thermischem Prinzip beruhendes Instrument, wie es nachstehend beschrieben ist.

Die Wirkungsweise beruht auf der Gleichung:

$$4\,ei = (e + i)^2 - (e - i)^2,$$

d. h., es wird statt des Produktes die Differenz zweier Summen gemessen. Dieses Prinzip wurde zuerst von R. Bauch angewandt[1]), welcher die in Abb. 2 dargestellte Schaltung angab. S ist der vom Hauptstrom J durchflossene Shunt, der mit den beiden gleich langen und gleich starken Hitzdrähten H_1 und H_2 verbunden ist. Der Vereinigungspunkt beider Hitzdrähte ist über einen passenden Vorwiderstand mit dem anderen Netzpol verbunden; der in diesem Widerstand fließende Strom $2e$ verteilt sich zu gleichen Teilen auf beide Hitzdrähte und wenn der vom Hauptstrom J abgezweigte Strom i ist, so wird H_1 durchflossen von dem Strom $e + i$, H_2 von $e - i$. Die Ausdehnung der Hitzdrähte folgt dem Quadrat dieser Ströme und die Differenz der Verlängerung wird auf einen Zeiger übertragen, wie es Abb. 2 schematisch zeigt. Die Skala eines solchen Instrumentes kann also direkt in Watt geeicht werden und seine Angaben sind unabhängig von der Phasenverschiebung und der Periodenzahl.

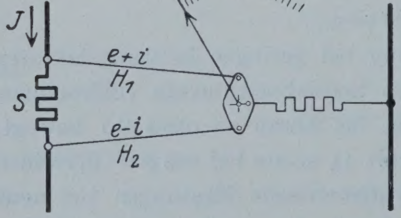


Abb. 2.

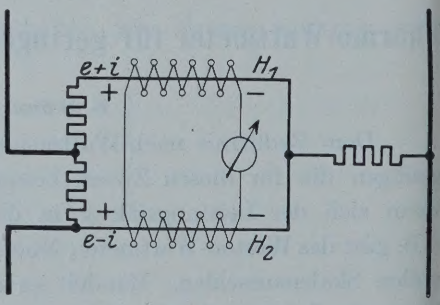


Abb. 3.

Der Nachteil derartiger Instrumente bestand in ihrem sehr hohen Eigenverbrauch[2]), der fast dem Meßbereich gleich kam und der eine Verwendung für die meisten Zwecke der Meßtechnik unmöglich machte. Dieser läßt sich zwar dadurch erheblich verringern, daß man den Spannungspfad durch einen Transformator speist, doch verliert man

[1]) *Elektrotechn. Zeitschr. 1903. S. 350.*

[2]) Keinath, Die Technik der elektr. Meßgeräte. 1922.

hierdurch die Hauptvorteile des Hitzdrahtsystems, die Eichfähigkeit mit Gleichstrom und die Brauchbarkeit bei höheren Frequenzen. Am meisten litt unter dem hohen Verbrauch das Instrument selbst, denn das an sich schon wenig zuverlässige Hitzdrahtsystem war durch die von ihm selbst erzeugte Wärme unkontrollierbaren Einflüssen ausgesetzt.

Das in folgendem beschriebene, von Brückmann, Professor an der Technischen Hochschule in Delft, erfundene Instrument unterscheidet sich von dem vorstehend beschriebenen grundsätzlich dadurch, daß es kein Hitzdrahtsystem besitzt, sondern es werden durch zwei Heizdrähte H_1 und H_2 (Abb. 3) je eine Serie von 50 Thermoelementen geheizt. Die Schaltung ist so, daß H_1 vom Strom $e + i$ durchflossen wird und H_2 von $e - i$. Beide Elementserien sind über ein Drehspul-Millivoltmeter gegeneinander geschaltet, so daß der Ausschlag dieses wieder dem Gesetz $(e + i)^2 - (e - i)^2$ folgt.

Das Millivoltmeter hat eine Empfindlichkeit von 3 mV für den vollen Skalenausschlag bei einem Widerstand von 10 Ohm. Es kann leicht mit Gleichstrom kontrolliert werden. Um das Ablesen zu erleichtern, sind auf der Skala zwei Einteilungen angebracht. Eine gleichmäßige in 150 Teilen für die Gleichstromkontrolle und eine quadratische für die Messung mit dem Thermosystem.

Die Empfindlichkeit dieses Thermo-Instrumentes ist sehr hoch. Der Spannungsabfall am Strompfad beträgt bei 1,5 Amp. etwa 1 Volt. Es kann aber schon ein Meßbereich bis 0,3 oder 0,45 Amp. eingebaut werden. Die Erweiterung des Meßbereichs nach oben ist durch ansteckbare Shunts möglich. Hierin liegt ein weiterer Vorzug dieses Systems gegenüber dem dynamometrischen, bei dem bekanntlich die Anwendung mehrerer Meßbereiche beschränkt ist. Es werden Shunts zu 6, 15 und 30 Amp. geliefert. Der Stromverbrauch im Spannungspfad beträgt etwa 60 mA. Die Widerstände sind für Spannungen bis 300 Volt fest eingebaut und für 30 und 150 Volt unterteilt. Auf Wunsch können auch andere Unterteilungen vorgenommen werden, z. B. kann ein kleinstes Meßbereich bis 3 Volt eingebaut werden. Durch einen getrennten Vorwiderstand kann der Meßbereich auf 600 Volt erweitert werden.

Die Heizdrähte werden nur gering beansprucht. Es entspricht z. B. dem Strom von 60 mA eine Erwärmung von etwa 10° C. Hierdurch ist Unveränderlichkeit der Angaben auf die Dauer gewährleistet, selbst wenn die Heizdrähte mehrfach überlastet werden, wie es bei großer Phasenverschiebung vorkommen kann.

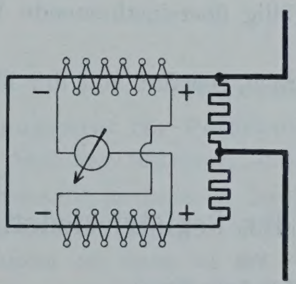


Abb. 4.

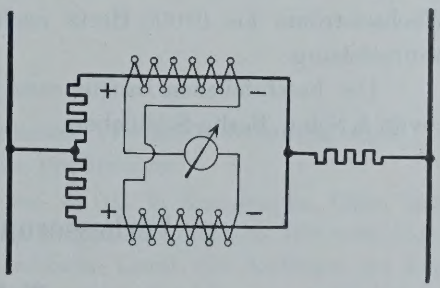


Abb. 5.

Hat man es mit sehr kleinen Leistungsfaktoren zu tun (in der Größenordnung von 0,01 und darunter), so benutzt man zweckmäßig an Stelle des Millivoltmeters ein Spiegelgalvanometer. Ein Instrument, welches diesen Verhältnissen angepaßt ist und mit der Einrichtung geliefert werden kann, hat eine Empfindlichkeit von 1 Mikrovolt pro mm bei 1 m Skalenabstand. Für den Gebrauch auf der Strecke wird ein Spezialmodell im Tragekasten geliefert, das keinerlei umständliche Justierarbeiten am Aufstellungsort erfordert, sondern stets gebrauchsfertig ist.

Es liegt nahe, das oben beschriebene Prinzip nicht nur für wattmetrische Mes-

sungen sondern auch für Strom- und Spannungsmessungen anzuwenden. Die Schaltung als Strommesser zeigt Abb. 4, diejenige als Spannungsmesser Abb. 5. Die praktische Ausbildung eines Instrumentes als Strom-Spannungs- und Leistungsmesser läßt Abb. 6 erkennen. Der Kasten, in dem die Thermosysteme untergebracht sind, enthält einen Umschalter mit 3 Stellungen, durch welchen man das Instrument als Strom-Spannungs- oder Leistungsmesser umschalten kann, ohne daß es notwendig ist, äußere Verbindungen zu lösen oder zu vertauschen. Da die Einstellzeit des Millivoltmeters sehr kurz ist, erfordert die Umschaltung und Ablesung nicht mehr Zeit, als das Ablesen getrennter Instrumente.

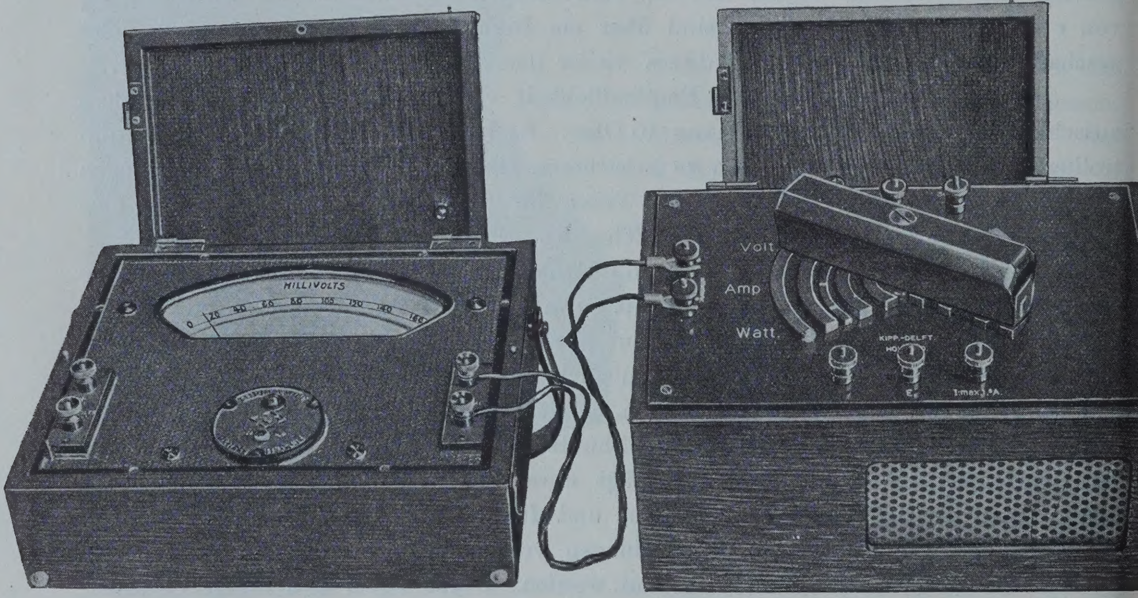


Abb. 6.

Außer zu Leistungsmessungen bei niedrigem Leistungsfaktor finden die Instrumente ein weites Anwendungsgebiet in der Hochfrequenztechnik. Nach Untersuchungen, die auf der Universität in Utrecht angestellt wurden, zeigen derartige Instrumente für Wechselströme bis 10000 Hertz nnch völlig übereinstimmende Werte mit der Gleichstromeichung.

Die beschriebenen Instrumente werden geliefert von der Firma Dipl.-Ing. D. Bercovitz & Sohn, Berlin-Schöneberg.

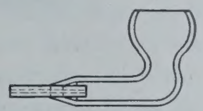
Verbesserung der Registrierfeder.

Von
W. Keil in Berlin-Steglitz.

Herr Kapitän z. S. a. D. A. Mensing stieß bei seinem Hochseepegel auf erhebliche Registrierschwierigkeiten. Der Pegel, ein selbstschreibendes Druckmeßgerät, das an einem durch besondere Boje gekennzeichneten Ort versenkt wird und dort mehrere Tage oder Wochen sich selbst überlassen bleibt, zeichnet die Gezeiten auf als Druckänderungen, denen ein Meßorgan infolge der Höhenschwankungen der aufliegenden Wassersäule unterworfen wird. Bei der Auslegung und Einholung des schweren Pegels lassen sich Stöße nicht vermeiden, die insofern zu Unzuträglichkeiten führten, als

häufig die Spitze der verwendeten Glasfeder beschädigt wurde. Das hatte zur Folge, daß die Aufzeichnungen im günstigeren Falle nur unsauber ausfielen, im ungünstigeren, wenn die dann scharfkantig gewordene Spitze das Papier verletzte, die Aufzeichnungen ganz in Frage gestellt wurden. Glasfedern mit verhältnismäßig starker Spitze wiederum waren deshalb unbrauchbar, weil die Strichbreite zu breit ausfiel. Federn aus Metall erwiesen sich als ganz ungeeignet, da sie in der üblichen „Schiffchenform" bei Stößen die Tinte nicht genügend hielten, so daß diese verspritzt wurde.

Es wurde nun versucht, durch einen kleinen Kunstgriff, ohne an der an sich bewährten Grundform der Glasfeder etwas zu ändern, eine brauchbare Registrierfeder zu erhalten, die die erwähnten Mängel nicht aufweist. Beistehende Abbildung diene zum besseren Verständnis des Folgenden. In den wie vorher geformten Federkörper wurde eine Platiniridiumkapillare, die Heraeus lieferte, von einer Wandstärke von 0,1 mm und einem inneren Durchmesser von 0,1 oder 0,15 mm als Spitze eingeschmolzen. Dabei wurde besonders darauf geachtet, daß die Ausführungsöffnung nicht zusammengedrückt wurde, ein möglicher Schaden, der bei fertiggestellter Feder kaum mehr zu beheben ist und Versagen der Feder zur Folge hat. Platiniridium als Spitzenmaterial erweist sich auch bei dem gewählten feinen Profil noch als steif genug, insbesondere gegen Verbiegungen, wenn das aus dem Glaskörper der Feder herausragende Stück eine Länge von 1 bis 1,5 mm nicht überschreitet, und hat den Vorteil von der Tinte nicht angegriffen zu werden. Wird die Feder nicht gebraucht, läßt sie sich in Alkohol bequem sauber halten.



Mit der beschriebenen Feder, die in einer federnden Tülle am Schreibhebel befestigt wird, ließ sich eine gleichmäßige Strichbreite von 0,1 bis 0,15 mm auch bei großem Papiervorschub erreichen. Für Aufzeichnungen subtiler Vorgänge, etwa der Feinstruktur des Windes oder seismischer Vorgänge erscheint daher die Feder besonders geeignet. Da der Tintenverbrauch bei geeignetem mittelstark geleimten Papier äußerst gering bleibt, eignet sich die Feder auch für Instrumente längerer Trommelumdrehungsdauer oder bei fortlaufendem Streifen, wenn häufige Bedienung nicht möglich ist. Sie erscheint aber auch für aerologische und flugtechnische Instrumente verwendbar, da die Form des Tintenbehälters für die Wirkung der Adhäsionskräfte, d. h. das Anhaften der Tinte günstiger ist als bei Federn der meist gebräuchlichen „Schiffchenform".

Referate.

Ein neuer Auftragapparat für Polarkoordinaten (Polarkoordinatograph).

Nach dem Instrument und einer Beschreibung.

Das bekannte mathematisch-mechanische Institut von A. Ott in Kempten im Allgäu baut seit einiger Zeit einen Apparat zum Auftragen von Punkten nach Polarkoordinaten. Der neue Apparat besteht im Grundgedanken aus einem um den Pol drehbaren Lineal zum Auftragen der Entfernungen und einer mit dem Lineal in fester Verbindung stehenden Meßrolle zum Auftragen der Winkel. Der Apparat wird in zwei Ausführungen gebaut; die einfache Ausführung (Abb. 1) eignet sich zum Auftragen der Punkte für Geländeaufnahmen, die bessere Ausführung (Abb. 2) kommt für das Auftragen von Punkten für die Zwecke von Katastermessungen in Frage. Die beiden Ausführungen unterscheiden sich insbesondere im Auftragen der Entfernungen; bei der einfachen Ausführung werden die Entfernungen mit Hilfe der an der abgeschrägten Linealkante angegebenen Teilung zum Beispiel mit Benutzung einer Nadel aufgetragen. Die bessere Ausführung hat einen besonderen Schieber mit Nonius und Punktiervorrichtung.

Der Apparat besteht bei beiden Ausführungen aus dem 30 cm langen Lineal mit der Teilung und dem, einen unveränderlichen Winkel mit dem Lineal einschließenden Meßrollenarm. Das Endstück *D* (Abb. 3) des Lineals *A* trägt die Polhülse *a*, in die die mit einem Gewicht *P* und einem Führungsstift *q* versehene Polnadel *p* gesteckt werden kann. Das Endstück *D* hat zwei Vertie-

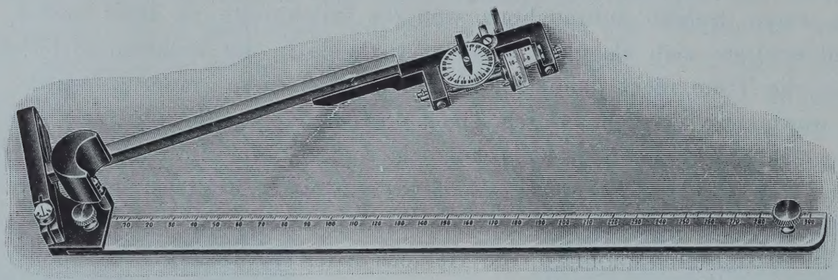


Abb. 1.

fungen h_1 und h_2, in die zwei kugelförmige Zapfen an der Unterseite des Querstückes *G* des Meßrollenarms *F* gesetzt werden können. Bei der besseren Ausführuug des Apparates sind zwei Lineale mit je zwei verschiedenen Maßstäben vorhanden; die Auswechslung der Lineale erfolgt in einfacher Weise nach Lösung der Schraube *l*.

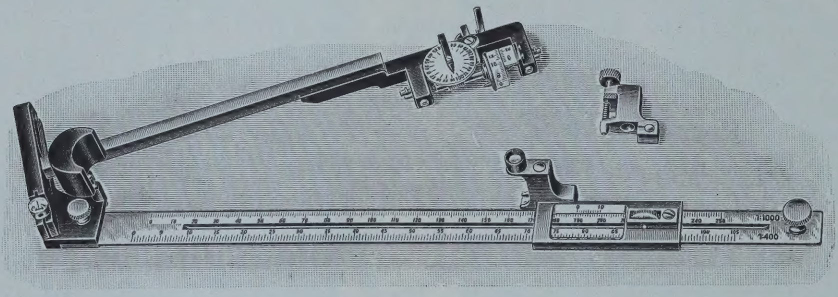


Abb. 2.

Die Vorrichtung zum Messen der Winkel besteht aus der Meßrolle *M* mit dem Nonius *N* und der Zählscheibe *Z*; die Teilung der letzteren geht von 0 bis 360° bzw. 400ᵍ, die Noniusangabe beträgt bei beiden Teilungen zwei Minuten, durch Schätzung kann noch auf eine Minute genau abgelesen werden. Die Rolle ist mit einer besonderen Vorrichtung zum Einstellen auf die Ablesung

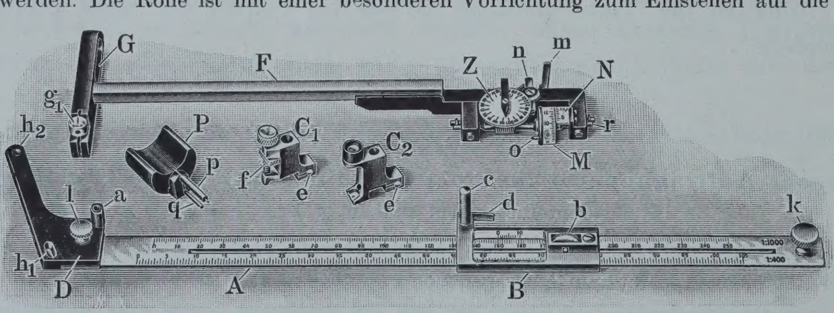


Abb. 3.

„0“ versehen; diese besteht aus dem Einschalthebel *m* und dem auf den Stift *o* an der Rolle wirkenden V-förmigen Abstellhebel *n*. Die Nullstellung der Meßrolle läßt sich mit der Vorrichtung in einfacher und bequemer Weise vornehmen.

Die Aufstellung des Apparates in dem auf dem Papier gegebenen Pol geschieht bei der einfachen Ausführung mit Hilfe der Polhülse *a*; wie ich durch mehrere Versuche festgestellt habe, kann man auf diese Weise den Apparat auf einen Nadelstich genau zentrieren. Bei der besseren

Ausführung erfolgt die Zentrierung des Apparates mit Hilfe der besonderen Vorrichtung C_2, die dann auf den Stift c des Schiebers B so aufgesetzt wird, daß sie an dem Anschlag d anliegt. Die Vorrichtung C_2 besteht aus einer in roter Farbe angegebenen kreisförmigen, nur wenig vom Papier abstehenden Marke und einer darüber angebrachten Lupe. Bei Benutzung der Zentriervorrichtung wird der Schieber B bis zum Anschlag an das Endstück D gebracht; die kreisförmige Marke des Trägers C_2 befindet sich dann unterhalb und in der Achse der Polhülse a, so daß die Aufstellung des Apparates über dem gegebenen Pol außerordentlich genau vorgenommen werden kann. Der zentrierte Apparat wird bei beiden Ausführungen mit Hilfe der in die Hülse a gesteckten Polnadel p auf dem Papier festgehalten.

Die Einstellung des Lineals auf die gegebene Nullrichtung geschieht bei der einfachen Ausführung des Apparates mit der abgeschrägten Linealkante, bei der besseren Ausführung mit Hilfe der kreisförmigen Marke des auf den Schieber B aufgesetzten Trägers C_2. Die Entfernungen werden bei der einfachen Ausführung unmittelbar mit dem an der Linealkante angegebenen Maßstabe angetragen; bei der besseren Ausführung werden die Entfernungen mit dem Schieber B, der für diesen Zweck mit einer Einstellrolle b und einem Nonius versehen ist, eingestellt; die Übertragung der eingestellten Punkte auf das Papier geschieht mit Hilfe der Punktiervorrichtung C_1, die in ähnlicher Weise wie die Einstellvorrichtung C_2 auf den Stift c des Schiebers aufgesetzt werden kann. Bei dem sichelförmigen Querschnitt des Polgewichtes P können Punkte bis zu etwa 4 mm Entfernung aufgetragen werden.

Beim Gebrauch wird nach der Zentrierung des Apparates die Rolle in ihre Nullstellung gebracht, das Lineal auf die Anfangsrichtung eingestellt und die Rolle wieder freigelassen, beim Drehen wird der Apparat an dem Schraubenkopf k angefaßt.

An die Winkelmeßvorrichtung muß man die Anforderung stellen, daß für eine volle Umdrehung des Lineals ein Winkel von genau 360^0 bzw. 400^g abgelesen wird. Die Untersuchung dieser Anforderung kann man in einfacher Weise ausführen; ergibt sie einen Fehler, so kann man ihn nach Abheben des Rollennarmes F durch entsprechendes Drehen der Schraube g_1 beseitigen bei der das kugelförmige Ende exzentrisch ausgebildet ist, und auf deren Kopf Pfeile für „größer“ und „kleiner“ angegeben sind. Wie ich durch mehrere Versuche mit zwei Apparaten festgestellt habe, läßt sich dieses „Abstimmen“ der Meßrolle auf 360^0 bzw. 400^g in einfacher Weise mit genügender Genauigkeit vornehmen. Da die Umdrehungen der Meßrolle von der Beschaffenheit des Papieres abhängig sind, so ist die Untersuchung der Abstimmung auf jedem Zeichenblatt erneut vorzunehmen.

Bei der besseren Ausführung des Apparates muß man an die Zentriervorrichtung C_2 die Anforderung stellen, daß die Entfernung zwischen der Achse der Polhülse a und dem Nullstrich der Linealteilung ebenso groß ist wie diejenige zwischen der kreisförmigen Marke des aufgesetzten Trägers C_2 (Abb. 2) und dem Nullstrich des Nonius des Schiebers B. Die Untersuchung dieser Anforderung geschieht in der Weise, daß man die Polnadel in die Hülse a einsetzt und die Nadel leicht in das Papier eindrückt; sodann drückt man das Lineal auf das Papier und entfernt die Polnadel. Stellt man nun den Schieber B genau auf die Entfernung Null ein, so muß der Stich der Polnadel genau in der Mitte der kreisförmigen Marke der Vorrichtung C_2 liegen. Ergibt die Untersuchung einen Fehler in der Längsrichtung des Lineals, so rührt dieser von einer Verbiegung der Polnadel her, die dann durch eine andere Nadel zu ersetzen ist. Zeigt sich ein Fehler quer zur Linealkante, so kann man ihn mit Hilfe des an der Unterseite des Trägers C_2 angebrachten Schräubchens e beseitigen.

An die Punktiervorrichtung C_1 und die Zentriervorrichtung C_2 muß man die Anforderung stellen, daß sie übereinstimmen; um zu untersuchen, ob dies der Fall ist, gibt man mit der aufgesetzten Punktiervorrichtung C_1 einen Punkt an und sieht dann nach, ob dieser Punkt für C_2 genau in der Mitte der kreisförmigen Marke liegt. Ein sich zeigender Fehler weist auf eine Verbiegung der Nadel der Punktiervorrichtung hin, die dann zu ersetzen ist.

Um ein Urteil über die Genauigkeit zu bekommen, mit der man einen Winkel auftragen kann, habe ich einen beliebig großen Winkel mit dem Apparat der einfachen Ausführung aufgetragen und diesen Winkel dann fünfmal, je von einer anderen Anfangsstellung der Meßrolle ausgehend,

gemessen; der Unterschied zwischen dem Mittel der fünf Messungen und dem aufgetragenen Winkel betrug 1,5′. Man kann demnach mit dem Apparat die Winkel mit einem mittleren Fehler von 1—2 Minuten (a. T.) auftragen.

Eine weitere Untersuchung der beiden zur Verfügung stehenden Instrumente wurde in der Weise ausgeführt, daß je sechs beliebig große Winkel mit demselben Scheitel mehrmals, jedesmal von einer anderen Anfangsstellung der Meßrolle ausgehend, gemessen wurden; dabei wurde bei dem Apparat in der einfachen Ausführung nur einmal zentriert, bei dem Apparat in der besseren Ausführung wurde vor jeder Messung mit Hilfe der Zentriervorrichtung neu zentriert. Die Untersuchung ergab bei einmaliger Zentrierung für den mittleren Fehler eines einmal gemessenen Winkels Werte zwischen ± 1,3′ und 1,8′ oder im Mittel ± 1,6′; bei wiederholter Zentrierung betrug derselbe mittlere Fehler zwischen ± 0,5′ und 2,0′ oder im Mittel ± 1,1′.

Zur Untersuchung der Rolle und ihrer Teilung wurden mehrere Kreise in genau sechs gleiche Teile eingeteilt und die dadurch entstehenden gleich großen Winkel mehrmals mit dem Apparat in der besseren Ausführung gemessen; dabei ergab sich, daß die Genauigkeit der Winkelmessung mit dem Apparat größer ist als die Genauigkeit, mit der man mit dem Stangenzirkel einen Kreis in sechs gleiche Teile einteilen kann.

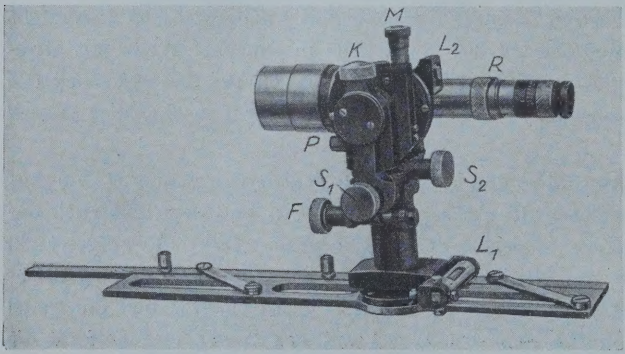
Die ausgeführten Messungen zeigen, daß der neue Apparat ein sehr wertvolles Hilfsmittel zum Auftragen von Punkten nach Polarkoordinaten ist. *P. W.*

Meßtischausrüstung von H. Wild.

An Hand des Instruments.

H. Wild baut neuerdings auch einen Meßtisch mit Kippregel, deren Bauart von dem sonst Üblichen wesentlich abweicht.

Der aus Stativ, Dreifuß und Zeichenplatte bestehende Meßtisch ist leicht und trotzdem stabil gebaut. Mit Rücksicht auf eine bequeme Beförderungsmöglichkeit hat das Stativ zusammenschiebbare Beine. Die Befestigung des Dreifußes auf dem Stativteller geschieht nicht mit dem unbequemen Stengelhaken mit Spiralfeder, sondern mit einer federnden, die Fußschrauben andrückenden Platte. Der Dreifuß ist mit einer Klemm- und Feinbewegungsschraube versehen; die letztere hat Schneckentrieb, so daß die bei der sonst üblichen Bauart — Feinbewegungsschraube mit Gegenfeder — schon bei leichtem Anstoßen an die Platte entstehenden Bewegungen wegfallen.



Die Kippregel hat ein von Haus aus 33 cm langes, durch ein anschraubbares Ansatzstück auf 43 cm verlängerbares Parallellineal; die Kippachse des im ganzen 20 cm langen Fernrohres hat einen Abstand von 12 cm von der Zeichenplatte. Das über das Objektiv und das Okular durchschlagbare Fernrohr hat bei 40 mm Objektivdurchmesser eine große Helligkeit; seine Vergrößerung ist 24 fach. Das Fernrohr ist gegen Staub und Feuchtigkeit abgeschlossen; die Scharfeinstellung erfolgt durch Verschieben einer inneren Linse mit Hilfe des Ringes *R*. Zum Fernrohr gehört eine Klemmschraube *K* mit einer Feinbewegungschraube *F*. Der mit dem Fernrohr verbundene Fadenentfernungsmesser hat die Multiplikationskonstante 100; die Additionskonstante ist gleich Null.

Der gegen äußere Einflüsse gut abgeschlossene Vertikalkreis hat 5 cm Durchmesser; zur Ablesung dient ein Skalenmikroskop mit einer Angabe von einer Minute. Das Ablesemikroskop *M* ist vertikal angeordnet; die dadurch bedingte Art der Ablesung mit vertikaler Blickrichtung nach unten ist sehr bequem. Die Beleuchtung der Ablesestelle des Vertikalkreises geschieht in ausgezeichneter Weise mit Hilfe eines drehbaren Prismas *P*. Die Bezifferung des Vertikalkreises geht von Null aus

nach beiden Seiten, wobei die ersten Grade mit + und — bezeichnet sind; mit Rücksicht auf die Vorzeichenfehler halte ich die durchlaufende Bezifferung von 0° bis 360° für bequemer.

An Libellen sind zwei vorhanden; die Libelle L_1 zum Vertikalstellen der Stehachse der Kippregel mit Hilfe der Schraube S_1, und die mit der Skala des Ablesemikroskops fest verbundene Libelle L_2. Die Libelle L_2 wird mit Hilfe der Schraube S_2 zum Einspielen gebracht.

Bei der Messung von Vertikalwinkeln mit einer Kippregel genügt die Messung in nur einer Fernrohrlage; dabei stellt man bekanntlich die Forderung, daß bei horizontalliegender Zielachse und einspielender Vertikalkreislibelle die Ablesung gleich Null ist. Die Untersuchung dieser Forderung geschieht am bequemsten mit einer auf dem Fernrohr angebrachten Wendelibelle; eine solche Nivellierlibelle ist bei der neuen Kippregel nicht vorhanden.

An dem ganzen Instrument sind nur zwei Berichtigungsvorrichtungen angebracht; eine an der Libelle L_1 und eine an der Libelle L_2. Der Verzicht auf alle unnötigen Schrauben ist nur zu begrüßen.

Die Kippregel ist trotz ihrer geringen Abmessungen recht stabil; die Anordnung ihrer einzelnen Teile ist handlich und bequem. Die ganze Ausrüstung läßt sich einfach verpacken, so daß sie bequem befördert werden kann. *P. W.*

Die Polarkoordinatenmethode mittelst optischer Distanzmessung als Aufnahmeverfahren für Katastervermessungen.

Von J. Baltensperger. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1926. S. 449.*

Es handelt sich hier um den Abdruck eines vor dem Landesverein Bayern des Deutschen Vereins für Vermessungswesen gehaltenen Vortrags, in dem J. Baltensperger über die Erfahrungen berichtet hat, die in der Schweiz mit der optischen Entfernungsmessung für die Zwecke der Stückvermessung und der Polygonzugmessung gemacht wurden.

Nach diesen Erfahrungen reicht die mit den vorhandenen Distanzmessern — angeführt werden diejenigen nach A. Aregger, R. Bosshardt, R. Werffeli und H. Wild — erzielbare Genauigkeit aus, um bei der Stückvermessung den Anforderungen der Instruktionen II (Gebiete mit mittlerem Bodenwert: Städte und größere Ortschaften mit nicht sehr hohen Bodenpreisen, Dörfer und wertvolles Kulturland) und III (Gebiete mit niedrigem Bodenwert: Alpen, Weiden, Waldungen, Bergdörfer und minderwertiges Kulturland), „bei Verwendung von gewissen Distanzmessern sogar denjenigen der Instruktion I“ (Gebiete mit außerordentlich hohem Bodenwert in Städten) zu genügen. Das Verfahren komme hauptsächlich in Frage bei der Vermessung von wenig und offen überbautem Gebiet, von offenem Kulturland, Weinbergen, Waldungen, Alpen und Weiden. In überbautem Gebiet (Städten und Dörfern) soll die optische Entfernungsmessung nur für die Messung der Polygonzugseiten, also nicht für die Stückvermessung verwendet werden.

Bei Polygonzugmessungen wird jede Strecke „mindestens doppelt und zwar in der Regel vor- und rückwärts“ gemessen; dabei müssen „je nach dem zur Verwendung kommenden Distanzmesser, dem Luftzustand und der Beleuchtung“ die Beobachtungen auf den einzelnen Punkten mehrmals ausgeführt werden. Lange Zugseiten werden in zwei Teilen gemessen.

Die Ergebnisse der Polygonzüge mit optischer Seitenmessung ist „bei sorgfältigen und sachverständigen Beobachtern“ derart, daß sie die Anforderungen in den Instruktionsgebieten III, II und „zum Teil auch“ im Instruktionsgebiet I erfüllen. Sorgfältige Nachmessungen mit Latten in ebenem und steilem Gelände haben „gute Übereinstimmung“ mit den optisch bestimmten Werten ergeben. Die Anschlußfehler der Polygonzüge bleiben „weit innerhalb der zulässigen Fehlergrenzen“. In sehr steilem Gelände ergaben sich — im Gegensatz zu Polygonzügen mit Lattenmessung — „nicht oder nur unwesentlich größere“ lineare Schlußfehler als in ebenem Gelände. Im Instruktionsgebiet II liegen alle Abweichungen „weit innerhalb“ der Fehlergrenzen für Hauptzüge; „einzelne Distanzmesserinstrumente genügen sogar“ den Genauigkeitsanforderungen der Instruktion I b.

In Bezug auf die Wirtschaftlichkeit wird gesagt, daß die Durchführung der Stückvermessung nach Polarkoordinaten mit optischer Entfernungsmessung „je nach den topographischen Verhältnissen 5—30 Prozent oder im Mittel 20 Prozent“ billiger ist als diejenige nach rechtwinkligen Koordinaten.

Am Schluß werden die Ergebnisse von Vergleichsmessungen zwischen optischer Entfernungsmessung und Lattenmessung mitgeteilt. Bei 45, zwischen 30 und 200 m langen Strecken ist der größte Unterschied zwischen der optischen Messung mit dem Instrument von R. Bosshardt und der Lattenmessung 3,2 cm bei einer Länge von rund 142 m. Bei 17, mit dem Instrument von H. Wild gemessenen, zwischen 30 und 115 m liegenden Strecken beträgt der größte Unterschied im Vergleich zur Lattenmessung 3,7 cm bei einer 85 m langen Strecke. Mit dem Instrument von A. Aregger wurden 20 Strecken zwischen 28 und 107 m gemessen; hierbei zeigten sich Abweichungen von 4 cm gegenüber der Lattenmessung bei 60 und 100 m langen Strecken. Das Instrument von R. Werffeli, mit dem 30, zwischen 30 und 130 m lange Strecken gemessen wurden, ergab als größte Abweichung 5 cm bei einer 78 m langen Strecke. Berechnet man den mittleren Fehler einer Strecke, so findet man für das Instrument von R. Bosshardt $\pm$ 1,6 cm, für das Instrument von H. Wild $\pm$ 1,9 cm, für das von A. Aregger $\pm$ 2,3 cm und für das von R. Werffeli $\pm$ 2,4 cm.

Auch die hier mitgeteilten Erfahrungen zeigen, daß insbesondere das nach den Angaben von R. Bosshardt von der Firma C. Zeiss hergestellte Instrument[1]) für die optische Feinmessung von Strecken bis etwa 200 m gute Dienste leistet. *P. W.*

Bestimmung der Höhenlage der Insel Terschelling.

Von W. Schermerhorn. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1926. S. 417.*

Diese Höhenbestimmung durch Nivellement ist deshalb von Interesse, weil dabei drei Meeresübergänge mit Zielweiten von 2 km, 2,5 km und 6 km Länge auftraten. Derartig große Zielweiten erfordern gegenseitige und gleichzeitige Beobachtung von zwei Standpunkten aus. Zur Beseitigung des Fehlers zwischen der Zielachse und der Libellenachse waren bei früheren Beobachtungen ähnlicher Art die beiden Instrumente in den Standpunkten vertauscht worden; dabei zeigten sich „plötzliche und ganz unregelmäßige“ Änderungen des besagten Fehlers. Mit Rücksicht hierauf wurde eine Instrumentenbauart gewählt, bei der der Ziellinienfehler auf jedem Standpunkt selbst durch entsprechende Anordnung der Messung unschädlich gemacht werden kann.

Die benutzten Instrumente wurden nach den Angaben von J. Heuvelink von der Firma F. W. Breithaupt & Sohn in Kassel gebaut. Es sind dies Nivellierinstrumente mit drehbarem Fernrohr und umsetzbarer Wendelibelle. Das Fernrohr hat ein Objektiv mit 41 mm Öffnung und 510 mm Brennweite; zwei Okulare ergeben 30- bzw. 40fache Vergrößerung. Die Libelle hat eine Empfindlichkeit von 5″ für eine Pariser Linie und ist mit einer Kammer versehen, so daß stets mit einer Blasenlänge von 30 Teilen beobachtet werden konnte. Das Instrument ist mit einer Kippschraube mit einer Ganghöhe von 0,25 mm und einer Hebellänge von 260 mm versehen. Die Prüfung der Instrumente erstreckte sich hauptsächlich auf eine Untersuchung des Ausschleifungsbogens der Wendelibelle. Die Teilung der Nivellierlatten war den verschiedenen Zielweiten angepaßt. Bei den 2 und 2,5 km großen Zielweiten bestand die Teilung aus 10 cm breiten schwarzen und 20 cm breiten weißen Feldern; bei der 6 km großen Zielweite wurden 30 cm breite schwarze und 50 cm breite weiße Felder verwendet. Die Latte bestand aus 30×60 bzw. 50×60 cm großen, in einem Rahmen aufeinandergesetzten Platten aus mattem Glas; der Rahmen wurde in einem 9 m hohen Gestell aus Holz und Eisen in die erforderliche Höhe gezogen und dort festgehalten. Die Teilung auf Glas hat sich — insbesondere bei Zielungen gegen die Sonne — „ganz vorzüglich bewährt“; sie hat mit dazu beigetragen, daß „bei einigermaßen guten Witterungsverhältnissen fast den ganzen Tag“ gearbeitet werden konnte.

Zur Messung eines Höhenunterschiedes wurden vier Instrumente verwendet, von denen je zwei in einem Endpunkt aufgestellt wurden; zur Beseitigung der möglichen Fehler wurden die vier Beobachter und die vier Instrumente nach einem bestimmten Schema ausgewechselt. Die Aufstellung der Instrumente erfolgte mit Hilfe von besonderen Pfahlbauten derart, daß die Zielachse 3,5 m über dem Meereshochwasser lag; die beiden Instrumente in einem Endpunkt wurden dabei in einem Abstand von 30 cm aufgestellt.

Die Beobachtungen erfolgten bei nicht einspielender Libelle in der Weise, daß ein Latten-

---

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **48.** *S. 93. 1927.*

strich eingestellt, der entsprechende Libellenstand abgelesen und die dadurch bestimmte Verbesserung berechnet wurde. Die Messung wurde so angeordnet, daß nacheinander drei aufeinanderfolgende „Striche“ der Lattenteilung eingestellt wurden, von denen der mittlere ungefähr der einspielenden Libelle entspricht; dies wurde in umgekehrter Reihenfolge in der zweiten Libellenlage wiederholt. Das Mittel dieser sechs Einstellungen ergab eine „einzelne Beobachtung“, die in umgekehrter Reihenfolge der Libellenlagen wiederholt wurde. Zwei solche „einzelne Beobachtungen“ bilden „einen Satz“ und vier Sätze „eine Reihe“. Nach jedem Satz wurde die Lage der Libellenachse zur Zielachse an der Libelle etwas verändert, so daß die Ablesungen an der Libelle bei jedem Satz andere waren.

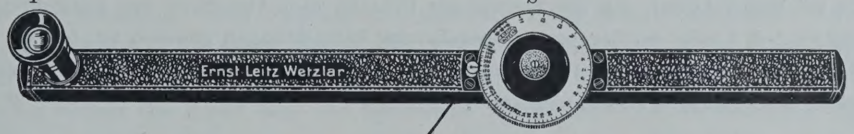
Zur Ausschaltung der Einflüsse der Refraktion wurden die Messungen an mindestens fünf Tagen unter möglichst verschiedenen äußeren Verhältnissen wiederholt.

Von den Ergebnissen der ganzen Messung sei wenigstens noch angeführt, daß bei den Zielweiten von 2 km, 2,5 km und 6 km die betreffenden Höhenunterschiede mit den mittleren Fehlern $\pm$ 1,1 cm, $\pm$ 0,7 cm und $\pm$ 2,5 cm bestimmt wurden. Auf die Berechnung der Messungsergebnisse und die mitgeteilte Untersuchung des Einflusses der Refraktion kann hier nicht eingegangen werden. *P. W.*

Entfernungsmesser „Fardi“ für technische Zwecke.

Nach dem Instrument.

Die optischen Werke von E. Leitz in Wetzlar fertigen seit einiger Zeit einen für technische Zwecke bestimmten Entfernungsmesser mit 40 cm langer Basis. Das Instrument ist ein Koinzidenzentfernungsmesser, bei dem das durch ein rechtwinkliges Prisma erzeugte Bild durch Drehen der Scheibe S (vgl. die Abb.) zur vollständigen Deckung gebracht wird mit dem durch das Fernrohr F unmittelbar gesehenen Bild des Gegenstandes; die Ablesung der Entfernung erfolgt mit Hilfe der Marke M an der auf der Scheibe angebrachten Teilung. Das abschraubbare Fernrohr F ist ein galileisches mit drei-



facher Vergrößerung. Vor dem Fernrohr befindet sich eine Gelbscheibe, so daß das unmittelbar gesehene Bild — im Gegensatz zu dem durch das Prisma erzeugten Bild — in einem leichten gelben Ton erscheint; diese Unterscheidung der beiden Bilder ist für den Gebrauch recht bequem.

Die Teilung auf der Scheibe S geht von 11 m bis 300 m; außerdem sind — für den praktischen Gebrauch bedeutungslos — Striche für 400, 500 und 1000 m und ein Strich für „Unendlich“ vorhanden. Mit Rücksicht auf eine aus irgendeinem Grund notwendig werdende Berichtigung des Instruments ist die Scheibe S so angeordnet, daß sie — und damit die Teilung — nach Lösen einer Schraubenmutter gedreht werden kann. Die Untersuchung des Instruments erfolgt mit Hilfe einer bekannten kleinen Strecke von etwa 20 m Länge oder mit Benutzung des Teilungsstriches „∞“.

Das Instrument kann bei der Messung je nach der Gestalt des Gegenstandes, dessen Entfernung bestimmt werden soll, horizontal oder vertikal gehalten werden.

Als „Meßgenauigkeit“ gibt die Firma E. Leitz an: Bis 50 m $\pm$ $^1/_2$%, von 50 bis 100 m $\pm$ 1%, von 100 bis 200 m $\pm$ 2% und von 200 bis 300 m $\pm$ 3%.

Eine eingehende Untersuchung der mit dem Instrument erreichbaren Genauigkeit hat K. Lüdemann[1]) ausgeführt; er fand dabei bei freihändiger Benützung für den mittleren Fehler einer Messung bei einer 25 m langen Strecke $\pm$ 0,14 m oder $\pm$ 0,6%, bei einer 50 m langen Strecke $\pm$ 0,40 m oder $\pm$ 0,8%, bei einer 100 m langen Strecke $\pm$ 1,1 m oder $\pm$ 1,1%, bei einer 150 m langen Strecke $\pm$ 2,1 m oder $\pm$ 1,4% und bei einer 200 m langen Strecke $\pm$ 3,2 m oder $\pm$ 1,6%.

Es gibt sicher eine ganze Reihe von Arbeiten, bei denen das einfache und bequeme Instrument wertvolle Dienste leisten kann. Das Gewicht des Instruments beträgt verpackt 1,2 kg und unverpackt 0,7 kg; das Instrument kostet 125 RM. *P. W.*

---

[1]) Vgl. *Allg. Vermessungsnachr. 1926. S. 695.*

Über eine Vergleichsstrecke bei Längenmessungen.

Von Vermessungsrat Blaß. *Allg. Vermessungsnachr. 1926. S. 525.*

Es handelt sich hier um Längenmessungen in unebenem Gelände mit 5 m langen Meßlatten nach dem Ablote- oder Staffelverfahren. Empfohlen werden Meßlatten mit geringer Durchbiegung und ebenen, senkrecht zur Längsrichtung stehenden Endflächen. Auf die Notwendigkeit der Bestimmung der wirklichen Lattenlängen mit Hilfe einer Vergleichsvorrichtung wird besonders hingewiesen. Die infolge des Durchbiegens der Latten und der Schnurdicke des Lotes entstehenden, sich zum Teil aufhebenden, regelmäßigen Fehler werden eingehend besprochen und ihre Größe zahlenmäßig ermittelt.

Zur Bestimmung des aus dem unregelmäßigen Meßfehler, dem Durchbiegungsfehler, dem Lotungsfehler und dem persönlichen Fehler des Meßgehilfen entstehenden Gesamtfehlers der Streckenmessung mit 5 m langen Meßlatten empfiehlt der Verfasser die Verwendung einer ebenen, gegen die Horizontale etwas geneigten, in ihren Endpunkten scharf bezeichneten Vergleichsstrecke, deren Länge einerseits mit aufliegenden Latten und Umrechnung auf die Horizontale, und andererseits nach dem Abloteverfahren je mehrmals bestimmt wird. Die Erfahrungen mit einer solchen, rund 60 m langen, auf einer Mauer gewählten Vergleichsstrecke werden mitgeteilt.

Mit Rücksicht auf die Wichtigkeit der Streckenmessung in der Stückvermessung ist die auf Grund großer praktischer Erfahrungen gemachte Mitteilung wertvoll. Für die Anhänger des Meßbandes ist beachtenswert der Hinweis darauf, daß die Meßlatte „bis heute durch kein anderes besseres Gerät in bezug auf Genauigkeit übertroffen oder ersetzt ist“. *P. W.*

Über Winkelprismen.

Von P. Samel. *Allg. Vermessungsnachr. 1926. S. 425.*

Mit Rücksicht darauf, daß die Theorie der Prismen zum Abstecken von konstanten Winkeln in der letzten Zeit häufig der Gegenstand eingehender Betrachtungen gewesen ist, hat der Verfasser in übersichtlicher Weise das allen Prismenformen Gemeinsame unter Beifügung von kurzen fehlertheoretischen Betrachtungen zusammengestellt. *P. W.*

Die Helligkeit der Fernrohre geodätischer Vermessungsinstrumente.

Von K. Lüdemann. *Allg. Vermessungsnachr. 1926. S. 361.*

Die meisten Preislisten über geodätische Instrumente enthielten bis vor kurzem zur Beurteilung der benutzten Fernrohre nur Angaben über die Öffnung und die Brennweite des Objektivs und die Vergrößerung. Der Verfasser weist darauf hin, daß ohne die Angabe der Helligkeit noch kein genügendes Bild von der Leistungsfähigkeit eines Fernrohrs gegeben ist; er macht deshalb insbesondere Mitteilungen über die Helligkeit der Fernrohre geodätischer Instrumente. Die lesenswerte Arbeit enthält außerdem für den Benützer geodätischer Instrumente alles Wissenswerte über Objektive, Okulare, Eigenvergrößerung des Okulars, Austrittspupille, Lichtverlust im Fernrohr usw.

P. W.

Normung im Vermessungswesen.

Auf Anregung und im Rahmen des Deutschen Normenausschusses wurde im April d. J. ein „Fachnormenausschuß für das Vermessungswesen“ (Faverm) gegründet. Der Vorsitzende des Ausschusses ist Regierungs- und Steuerrat Lotz (Potsdam); dessen Stellvertreter ist Vermessungsrat Dr. Klempau (Berlin).

Ein besonderer Arbeitsausschuß, dessen Obmann Observator Dr. Brennecke (Potsdam) ist, soll die Normung der Meßinstrumente und Meßgeräte in die Wege leiten; dieser Ausschuß ist im Laufe des Sommers zusammengetreten zur Feststellung des Bereiches der Normung der einzelnen Gegenstände im Umriß. Als „normfähig“ wurden dabei insbesondere erklärt: Bodenplatten zum Aufsetzen der Nivellierlatte bei Wechselpunkten, Meßlatten für den Bauplatz, Setzlatten zum Aufnehmen von Querprofilen, Schacht- und Teufenmeßbänder, Meßbandstöcke, Markiernadeln für Meßbänder, Teilleinen, Rechtwinkelinstrumente, Flachwinkelinstrumente und Lote. Als „normungsnot-

wendig" wurden bezeichnet: Nivellierlatten, Fluchtstäbe, Meßlatten, Meßbänder, Neigungsmesser und Gradbogen. Über die genannten Gegenstände werden Fragebogen ausgearbeitet, die den Beteiligten zur Beantwortung zugesandt werden.

Daß eine Normung besonders der einfacheren Meßgeräte erwünscht wäre, ist sicher; wie weit sie bei den verschiedenen Ansprüchen der Benützer möglich ist, werden die weiteren Arbeiten des Ausschusses zeigen. *P. W.*

Bücherbesprechungen.

H. Boegehold, Geometrische Optik. Sammlung Bornträger, Bd. 11. 8⁰. 375 S. mit 109 Abb. Berlin 1927. Gebr. Bornträger. Geb. 13,50 RM.

Die Lehren der geometrischen Optik werden in durchaus moderner Auffassung dargestellt.

Es behandelt Abschnitt I die geradlinige Fortpflanzung des Lichts; dieser Abschnitt enthält auch das Notwendige, aber trotzdem in vielen Darstellungen der geometrischen Optik nicht Gesagte über den Geltungsbereich der geometrischen Optik. Abschnitt II behandelt Reflexion und ebenen Spiegel, Abschnitt III Brechung und Farbenstreuung sowie Platten und Prismen. Für das Prisma sind außer der Diskussion des Strahlenverlaufs im Hauptschnitt auch die Grundzüge des Strahlenverlaufs außerhalb des Hauptschnitts entwickelt; das Verfahren zur Berechnung des sekundären Spektrums ist dargestellt und mit numerischen Beispielen belegt; die verschiedenen Prismenformen (Amici, Porro u.a.) sind behandelt. Abschnitt IV (Optische Bilder und Scheinbilder) enthält Principielles über optische Abbildung; Abschnitt V (Die Theorie der optischen Bilder) enthält die Gaußsche Theorie der Abbildung durch eine achsensymmetrische Linsenfolge; an einer Stelle wird dabei die Beziehung zwischen Dingpunkt und Bildpunkt nicht durch Verfolgung der geometrischen Lichtstrahlen, sondern durch Betrachtung der Wellenfläche entwickelt. In einem Anhang zu diesem Abschnitt werden auch die Grundzüge der Theorie der Abbildung durch zweifach symmetrische Flächenfolgen entwickelt. Abschitt VI (Die Farbenabweichungen) behandelt die Berechnung der achromatischen Linse; ein numerisches Beispiel für die Durchrechnung wird gegeben. Abschnitt VII bringt die Erweiterung des Abbildungsbereiches (Gesetz von Abbe über die äquivalente Leuchtfläche, die verschiedenen Arten der Abbilldungsfehler, der Sinusbedingung etc.). Großer Wert ist dabei auf die Lehre von der Strahenbegrenzung gelegt. Abschnitt VIII (Das Auge und die Sehhilfen) bringt den Bau des Auges und eine über den üblichen Rahmen weit hinausgehende Darstellung der Theorie der Brille. Abschnitt IX behandelt an Hand der zuvor entwickelten Theorien Fernrohr, Lupe und Mikroskop, das photographische Objektiv, Kondensor, Kystoskop etc. Der Abschnitt X bringt Beispiele für die Durchrechnung und die Reihenentwicklung. In diesem Kapitel werden auch die Sätze von Fermat und Malus abgeleitet und die Grundzüge der auf diesen beiden Sätzen beruhenden Theorie der Fehler von Linsenfolgen dargelegt. (Charakteristische Funktion und Eikonal.).

Bei der Durchsicht des Inhaltes des Buches ist es sofort klar, daß es nicht möglich gewesen ist, an allen Stellen des Buches mit elementaren Rechnungen auszukommen; jedoch ist die Lektüre des Buches auch für den, dem nur die elementaren Rechnungsarten zur Verfügung stehen, zu empfehlen, da der Aufbau des Ganzen so gehalten erscheint, daß ein Überschlagen der nur bei Kenntnis der höheren Rechnungsarten verständlichen Abschnitte das Verständnis des folgenden nicht stört. *Dz.*

Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik, 11. Auflage, 2. Band, Lehre von der strahlenden Energie (Optik), erste Hälfte. Unter Mitwirkung von H. Erggelet, Jena; F. Jüttner, Breslau; A. König, Jena; M. von Rohr, Jena; E. Schrödinger, Zürich bearbeitet von O. Lummer. Gr. 8⁰. XVIII, 928 S., mit 624 Figuren im Text und auf 7 Tafeln. Braunschweig 1926, Friedr. Vieweg & Sohn Akt.-Ges. Geb. RM. 54.—.

Die großen Fortschritte der letzten Jahre auf optischem Gebiet haben der Neuauflage des vorliegenden Bandes den Stempel aufgedrückt. Schon die Aufteilung des Bandes in zwei Hälften läßt erkennen, wie stark einzelne Kapitel gegen die früheren Auflagen erweitert sind. Da der Müller-Pouillet bekanntlich zu den besten unserer physikalischen Lehrbücher zählt und schon

immer zählte, erübrigt sich eine Besprechung der aus älteren Auflagen unverändert übernommenen Kapitel. Um so eingehender sei dafür auf die Neubearbeitungen eingegangen.

Vorerst sei jedoch der Gesamtinhalt in großen Zügen dargetan. Zu Anfang steht ein Überblick über „das Wesen des Lichts und den Wandel des Ätherbegriffes im Laufe der Zeiten“, bearbeitet von Lummer; schon hier fällt angenehm die gründliche und liebevolle Angabe und Besprechung der wesentlichen Literaturstellen auf, die auch in allen folgenden Kapiteln mit peinlicher Sorgfalt fortgeführt wird. Sodann folgt eine Besprechung der „Lichtgeschwindigkeit im ruhenden und bewegten Medium“ durch Lummer und Jüttner. Die sich anschließenden acht Kapitel behandeln „die Abbildungslehre selbstleuchtender Objekte“ (Lummer), wobei die Abschnitte über „achromatische und geradsichtige Prismenkombinationen“ sowie über „die Abhängigkeit des Brechungsquotienten vom Zustand der Materie“ (Lummer und Klinkhardt) erweitert bzw. neu aufgenommen worden sind. Das nun folgende Kapitel über „das Auge und die Gesichtsempfindungen“ (Erggelet, von Rohr, Schrödinger) ist vollkommen neu bearbeitet; die Ausführlichkeit dieses Kapitels zeugt davon, daß die moderne Optik der physiologischen Seite immer größere Bedeutung beimißt. Weiterhin sind die Abschnitte über „die optischen Instrumente“ (A. König) völlig neu bearbeitet worden. Unverändert blieb das Kapitel über „die Strahlenbrechung und die von ihr abhängige Lichtwirkung optischer Systeme“ (Lummer). Die Kapitel über „Interferenz“ und „Beugung“ (Lummer) sowie über „die Abbildung nicht selbstleuchtender Objekte“ (Lummer) sind jedoch wesentlich erneuert worden. Soweit die Inhaltsübersicht des vorliegenden ersten Halbbandes.

Zu den Neubearbeitungen läßt sich manches sagen. Naturgemäß paßt in den Rahmen eines physikalischen Lehrbuches nur ein Kapitel über die Berechnung achromatischer und geradsichtiger Prismenkombinationen, dem die Voraussetzung unendlich kleiner Prismen- und Einfallswinkel vorangeschickt wurde; trotzdem findet der Leser eine kurze Bemerkung über die Notwendigkeit der letzten trigonometrischen Durchrechnung, was recht erfreulich ist. Die Bedeutung des sekundären und tertiären Spektrums wird kurz erörtert.

Mehr zu sagen ist zu dem Kapitel über die Abhängigkeit des Brechungsquotienten vom Zustand der Materie. Hier findet der Leser eine ausführliche Darlegung aller jener Versuche, welche den Brechungsquotienten mit physikalischen Zustandsgrößen der Materie, Dichte, Druck, Temperatur, Aggregatzustand, in Beziehung setzen wollen, sowie jener Zusammenhänge, welche man zwischen den Brechungsquotienten von Gemischen und Verbindungen und denjenigen der einzelnen Komponenten zu finden glaubte. Sehr gut ist hierbei die stoffliche Anordnung getroffen; der Reihe nach werden behandelt: die Refraktion von Gemischen, von Verbindungen und Lösungen, und von Gläsern. Der Leser findet hier eine teilweise kritisch gehaltene Besprechung der wichtigsten Gesetzmäßigkeiten: u. a. die Newtonsche, die Dale-Gladstonesche und die Lorenz-Lorentzsche Gleichung; sodann die verschiedenen Mischungsregeln, die einfache additive nach Biot und Arago und die logarithmische nach Lichtenecker. Bei Gelegenheit wird die Cauchysche Dispersionsformel genannt, jedoch wird die viel bekanntere Hartmannsche Dispersionsformel überhaupt nicht erwähnt. Zu den Neubearbeitungen aus dem besprochenen Kapitel gehört die quantentheoretische Deutung jener Tatsache, daß bei größerer Konzentration oder gar im Kristallgitter Refraktionsverminderung stattfindet, nämlich infolge gegenseitiger Deformation der Ionen durch Annäherung.

Das Kapitel „Über das Auge und die Gesichtsempfindungen“ ist vom anatomischen, physiologischen, psychologischen und physikalischen Standpunkt behandelt, und zwar mit einer Gründlichkeit, daß es unmöglich ist, im Rahmen dieser Besprechung ausführlicher zu werden. Die Leser dieser Zeitschrift werden insbesondere die Abschnitte interessieren, welche von den Grundlagen und Methoden der heterochromen Photometrie handeln. Hier werden insgesamt elf Methoden teilweise kritisch behandelt. Ferner findet sich ein Abschnitt über die Photographie in natürlichen Farben mittels Farbraster. Die Abschnitte über die Unterstützung des Auges durch die Brille zählen zu den besten des ganzen Buches, nur gehört der Konkurrenzstreit zwischen Zeiss und Goerz um die Largongläser, der überdies noch literarisch belegt wird, kaum in ein Lehrbuch der Physik.

Das Kapitel über die optischen Instrumente ist der neuzeitlichen Entwicklung angepaßt

wenn auch nur in den großen Zügen, ein tieferes Eindringen würde auch weniger die Aufgabe eines Physiklehrbuches als eines besonders dafür bestimmten Werkes sein. Nur auf das Eine sei noch hingewiesen. Man kommt beim Lesen des instrumentellen Kapitels nicht über den Eindruck hinweg, als ob es in Deutschland tatsächlich nur ein einziges optisches Werk gäbe, das Zeisswerk. Warum vermißt man, oft schmerzlich, die Erwähnung optischer Glanzleistungen anderer Werke, z. B. der Mikroskope nebst Zubehör von Leitz und Busch, der Goerzschen Entfernungsmesser und Periskope, der Photooptik von vielen anderen Firmen. Neu aufgenommen sind ferner die Methoden zur Messung von Bildfehlern optischer Systeme nach Twyman, Väisälä, Bratke.

In dem Kapitel über Interferenz des Lichtes nimmt die Interferenzspektroskopie erfreulicherweise einen breiten Raum ein. Die Auswertung des Meters in Wellenlängen wird gebührend berücksichtigt. Anschließend hieran wird auf die Festlegung der Normallinien erster, zweiter und dritter Ordnung eingegangen, und außerordentlich zu begrüßen ist der Abdruck der Tabellen über diese Normallinien mit Angabe ihrer Intensitäten. Auf die Korrektionen der Wellenlängen durch Druck und Temperatur wird gleichfalls hingewiesen. Die Feinstruktur der Spektrallinien und ihre Vermessung werden selbstverständlich nicht vergessen.

Unter den Abschnitten des Kapitels über Beugung des Lichts fällt vor allem ein Abschnitt auf, der spezielle Beugungsprobleme behandelt, wie etwa die Beugung an Zylindern, an schwarzen Schirmen, an Keilen usw. Die Theorie der Bildentstehung im Mikroskop läßt leider die bedeutsamen Arbeiten von Berek völlig unbeachtet, obwohl dieselben gerade hinsichtlich der Unterscheidung von Selbstleuchtern und Nichtselbstleuchtern von umwälzender Bedeutung sind. Die Beugung des Lichts an kleinen Teilchen wird bis zu den moderneren Problemen durchgeführt. Die Behandlung des Abbeschen Diffraktionsapparates ist für ein Lehrbuch der Physik eine Selbstverständlichkeit, ebenso die Auseinandersetzung der verschiedenen Methoden der Dunkelfeldbeleuchtung und Ultramikroskopie.

Alles in allem kann der Eindruck vom Inhalt des vorliegenden Werkes als geradezu glänzend bezeichnet werden. Äußerlich zeichnet sich das Buch durch gutes Papier, außerordentlich klaren Druck, zahllose Abbildungen und soliden Einband aus. Für den Studierenden wie für jeden Physiker ist das Buch unentbehrlich; die Anschaffung dürfte nach den Versprechungen des Verlages um so leichter sein, als sie durch Teilzahlungen und andersartige Vergünstigungen ermöglicht wird. Ein weitgehend unterteiltes Inhaltsverzeichnis und Sachregister machen das Buch zugleich zu einem Nachschlagewerk allerersten Ranges.

Der erste Halbband der Optik geht noch vollkommen unter dem Geiste Lummers in die Welt hinaus, denn beim Heimgange Lummers im Sommer 1925 befand das Buch sich bereits im Druck. Darum ist es den Herausgebern dieses Lummerschen Vermächtnisses nicht hoch genug zu danken, daß Lummers Bildnis dem Buche pietätvoll als Zierde beigegeben ist.

Flügge.

C. Chree, *Comparison of magnetic Standards at British Observatories, with a Discussion of various instrumental Questions involved. Meteorological Office, Geophysical Memoirs Nr. 30. London 1926.*

In den Jahren 1923 und 1924 wurden die Hauptinstrumente der magnetischen Observatorien von Greenwich, Valencia, Stonyhurst und Eskdalemuir mit den Instrumenten des Observatoriums Kew bei London verglichen, nachdem schon 1921 bis 1923 Vergleiche am *National Physical Laboratory* von London vorausgegangen waren. Der Verfasser beschreibt die Vergleichungen, die zum kleineren Teil in Kew selbst, in der Hauptsache aber mit Instrumenten von dort an den übrigen Observatorien stattgefunden haben; er macht Angaben über die Vergleichsinstrumente und erörtert die für die Vergleichung anwendbaren Methoden. Der Vergleich ist nicht einfach. Wenn an einem Observatorium gleichzeitig in 2 Beobachtungshütten gemessen werden kann, so ist die unmittelbare Vergleichung möglich. Sonst muß sie mit Hilfe der Registrierkurven für die Variationen geschehen, ein Verfahren, das auch bei gleichzeitiger Beobachtung von Vorteil ist. Aber schon verschiedene wenn auch benachbarte, Aufstellungspunkte können sich magnetisch verschieden verhalten, ohne daß der Unterschied scharf festzustellen ist; auch der Austausch der Instrumente kann eine Veränderung in diesen selbst bringen. Man wird meist die Hauptinstrumente eines Observatoriums un-

verändert an ihrem Standorte stehen lassen und die Vergleichung mit einem Reiseinstrument vornehmen. Aber auch dieses kann auf der Reise seine Konstanten ändern.

Der Fall der magnetischen Vergleichung ist wesentlich verwickelter als der anderer Vergleichungen. Wenn zum Beispiel zwei Urmaße für Längen miteinander verglichen werden sollen, so vergleichen wir in Wirklichkeit zwar auch nicht zwei ganz unveränderliche Größen. Aber die Hauptursache der Änderung, die Temperatur, kann genügend berücksichtigt werden. Das Längenurmaß hat wahrscheinlich auch eine säkulare Änderung; wenn aber der Stab aus einem geeigneten Material hergestellt ist, so wird er selbst in einer langen Reihe von Jahren keine größere Änderung als etwa 1 : 100 000 erleiden. Deshalb wird eine Bestimmung zwischen Urlängenmaßen durch eine einzige Vergleichung für eine Reihe von Jahren genügen, und ein für die Praxis als genügend unveränderlich anzusehendes Urmaß kann an einem Observatorium verwahrt werden.

Bei magnetischen Instrumenten trifft das nicht zu. Am ehesten vielleicht noch beim Erdinduktor. Aber schon nicht mehr beim Inklinatorium, wo der Unterschied der Neigungen eines Nadelpaars zwar konstant bleiben soll, sich aber im Laufe der Zeit ändert, ohne daß man weiß, wieviel der Änderung auf die einzelne Nadel kommt. Schwieriger noch liegt der Fall bei Instrumenten zur Messung der Deklination. In Kew konnte man einigen Anhalt durch Prüfung einer großen Zahl von Magnetometern bekommen, obwohl wegen Mangel an Zeit meist nur eine oder zwei Messungen von D gemacht werden konnten. Dabei wurden Abweichungen bis zu $1'$ den Beobachtungs- und Reduktionsfehlern zugeschrieben. Zeigte sich bei einem Instrument eine größere Abweichung, so wurde eine Sonderprüfung angestellt. Meist erwiesen sich dann Schrauben und Fassungen als nicht ganz eisenfrei, oder ein Deckglas vor dem Fernrohr als nicht gut planparallel.

Am schwierigsten liegt der Fall bei der Messung der Horizontalintensität. Hier muß die Präzision im Instrumentenbau mit der bei der Beobachtung zusammenwirken. Die Unveränderlichkeit der Konstanten ist dann immer noch mehr Sache des Glaubens als des Wissens. Die Fehlereinflüsse sind auch recht verschieden. Ein gewandter Beobachter kann in einer Beobachtungshütte die Temperaturänderungen nahezu gleichförmig mit der Zeit verlaufen lassen. Wenn er dann zwei vollständige Sätze mißt mit Umkehrung der Folge von Schwingungen und Ablenkungen, so kann er mit großer Annäherung richtige Mitteltemperaturen für beide bekommen. Wenn aber die Temperaturänderung gesetzlos vor sich geht, dann kann durch das Thermometer nicht mehr richtig die Temperatur des Magnets bestimmt werden. Die Fehler im Induktionskoeffizienten sind auch zu beachten. Bei Ablenkungen kommt der Fehler des Abstandes in Betracht. Die kleinere Entfernung beträgt gewöhnlich 30 cm, bei ihr macht ein Fehler von 0,01 mm einen solchen in H von etwa 1 γ aus ($1\,\gamma = 10^{-5}\cdot\Gamma$, wo $\Gamma = 1$ Gauß die Einheit der magnetischen Feldstärke im absoluten elektromagnetischen CGS-System ist). Die Durchbiegung der Ablenkungsschiene verkürzt den Abstand um wenigstens 1 : 10 000.

Ein schlimmer Fehler ist die Änderung des Trägheitsmoments des Kollimatormagnets mit der Zeit. Der Fehler ΔK, den das Trägheitsmoment K dieses Magnets in der Bestimmung der Horizontalintensität H mit sich bringt, ist gegeben durch $\Delta H/H = {}^1/_2 \cdot \Delta K/K$. Gewöhnlich wird K aus der Masse und den Dimensionen von Trägheitsstäben bestimmt, die als vollkommen homogene Kreiszylinder gelten. Im *National Physical Laboratory* wurden die Trägkeitsstäbe, die lange Zeit in Kew verwendet worden sind, mit einem verbesserten Apparate von Watson genau auf ihre Form geprüft. Das Ergebnis war nicht befriedigend. Deshalb wurden englische Werkstätten, die sich mit dem Bau von Magnetometern befassen, aufgefordert, besonders genaue Trägheitsstäbe zu liefern.

Die Trägheitsmomente dieser Stäbe wurden, da der Watson-Apparat nicht zur Verfügung stand, durch Schwingungen mit dem Magnet des Instruments in Kew verglichen. Die Beobachtungen die von 1902—1904 ausgeführt wurden, gaben für folgende Stäbe eine gute Übereinstimmung:

D (von Dover)	65,886 g	9,996 cm Länge	0,994 cm Durchmesser
E (von Elliot Brs)	65,314 g	10,011 „ „	0,996 „ „

Im Jahre 1915 wurden beide Stäbe im *National Physical Laboratory* wieder gewogen, sie zeigten gegen 1902 eine Gewichtsabnahme von 4 mg, was $-4{,}8\,\gamma$ in H ausmacht. Eine abschließende Bestimmung des Trägheitsmoments des Hauptmagnets in Kew wurde 1922 ausgeführt. Für di

Trägheitsstäbe wurden die Dimensionen von 1902, aber die Gewichte von 1915 genommen. Die Stäbe wurden aber nochmals im *N. P. L.* bestimmt mit folgendem Ergebnis:

Stab *D*	65,881 g	9,996 cm Länge	0,994 cm Durchmesser
„ *E*	66,305 g	10,008 „ „	0,996 „ „

Diese neuen Werte bringen für *H* eine weitere Erniedrigung um 4,2 γ. Die Stäbe zeigen verschiedenes Verhalten, das durch neue Schwingungsreihen mit Magneten bestätigt wurde. Man kann nun kaum erwarten, daß jeder Trägheitsstab eine vollständige Homogenität besitzt. Auch eine kleine Gewichtsabnahme eines Stabes durch den gewöhnlichen Gebrauch scheint nicht unnatürlich. Aber eine Längenänderung von 10,011 cm auf 10,008 cm ist überraschend. Tatsache ist aber, daß auch zwei andere Trägheitsstäbe im Jahre 1922 kürzer gefunden wurden als 1902. Für alle vier Stäbe zusammen betrug die Verkürzung im Mittel 0,025 mm. Der Verfasser bezweifelt die Realität dieser Änderungen, überläßt aber die Entscheidung den Sachverständigen. Wenn es aber feststeht, daß Trägheitsstäbe ihre Länge in 20 Jahren merklich ändern können, so bieten sie nicht die Gewähr, die man von ihnen voraussetzt. Wenn in Kew der 1891 erhaltene Wert angeschlossen wäre, so würde die Bestimmung von *H* im Jahre 1922 um reichlich 25 γ zu hoch sein.

Die weiteren Ausführungen über die Verteilung des Magnetismus in den Magneten (Poldistanz) und die Vergleiche der Hauptinstrumente in Kew unter sich mögen hier nicht besprochen werden.

Die Unterschiede der Hauptinstrumente der anderen englischen Observatorien gegen Kew haben sich durch die Vergleiche 1923 und 1924 ergeben zu

	D	*H*	*J*
Greenwich, östl. London	+ 0,1′	+ 9 γ	— 0,15′
Valencia, West-Irland	— 0,15	— 11	— 0,3
Stonyhurst, Nord-England	+ 1,0	— 24	— 1,2
Eskdalemuir, Schottland	— 0,4	— 9	+ 1,8

Mit Angaben über Unsicherheiten in den veröffentlichten *H*-Werten von Kew schließt der Verfasser seine interessante Abhandlung.

Bei dieser Gelegenheit kann auf andere Anschlußmessungen hingewiesen werden.

Vom magnetischen Observatorium Potsdam wurden in Wilhelmshaven, in Holland, Frankreich und Rußland Vergleichsmessungen mit einem Reiseinstrument ausgeführt, worüber Veröffentlichungen vorliegen im Bericht über die Tätigkeit des K. Preuß. Meteorol. Inst. im Jahre 1910, Nr. 229, von Venske, Vergleichende erdmagnetische Messungen in Potsdam und Wilhelmshaven 1910, und Kühl, Vergleichung der Hauptbarometer und der magnetischen absoluten Instrumente in de Bilt, Paris-Val Joyaux, Pawlowsk mit denen in Berlin-Potsdam 1910.

Vom Carnegie-Institut, Abteilung für Erdmagnetismus, wurden 29 Hauptobservatorien direkt und 8 weitere indirekt verglichen. Die Veröffentlichung dieser Arbeiten erfolgte in *Researches of the Department of Terrestrial Magnetism. Vol. II. Land Magnetic Observations 1911—1913 and Reports on Special Researches by* L. A. Bauer *and* J. A. Fleming. Washington D. C. 1915. Die darin genannten Abweichungen von „*International Magnetic Standards*“ sind für

	ΔD (östl.)	ΔH	ΔJ	Jahr
Kew	+ 0,6′	— 1,4 γ	— 1,1′	1910
Potsdam	+ 0,2	+ 1,4	+ 0,2	1910
Washington	— 0,1	0,0	0,0	1914

Diese Beträge liegen innerhalb der Beobachtungsgenauigkeit, und nach der Definition von L. A. Bauer sind die Werte dieser 3 Observatorien ohne weiteres als internationale magnetische Grundwerte anzusehen.

Zum Schlusse seien noch einige Veränderungen angegeben.

Durch die Ausdehnung Londons nach Westen und nach Osten, insbesondere durch die mit elektrischem Gleichstrom betriebenen Bahnen, ist sowohl das magnetische Observatorium von Kew wie auch das von Greenwich so stark gestört worden, daß beide aufgegeben werden mußten. Für das erstere ist ein neues magnetisches Observatorium auf den Shetlandinseln, für das letztere eines an der Südküste Englands errichtet worden.

Das alte Lamontsche magnetische Observatorium von München ist durch den Gleichstrom von Straßenbahnen schon längst unbrauchbar geworden. Seine Neuerrichtung an einem störungsfreien Ort ist um so mehr erwünscht, als das Potsdamer Observatorium vom Süden des Reichs zu weit entfernt ist, um zur Bestimmung der Veränderungen der erdmagnetischen Kraft auch dort dienen zu können.

Das magnetische Observatorium auf dem Telegraphenberg bei Potsdam ist durch den elektrischen Betrieb des Umstellbahnhofs für Potsdam und der Straßenbahnen auch schon längst etwas gestört, so daß 13 km südlich davon in Seddin ein Hilfsobservatorium errichtet werden mußte. Nun aber droht beiden Observatorien die Gefahr großer bleibender Störungen durch elektrischen Bahnbetrieb mit Gleichstrom, so daß die Verlegung dieses Haupt- und Ausgangsobservatoriums an einen störungsfreien abgelegenen Ort nur noch eine Frage kurzer Zeit sein wird. Vor der Abwanderung müssen aber zur Erhaltung der Stetigkeit bei der Übertragung langreihige Parallelmessungen ausgeführt werden. *K. Haußmann.*

William Dériaz. *Les mesures de températures courantes.* 8°. 1927, 148 S. u. 24 Abb. Genf, Henri Robert.

In gemeinverständlicher Art vermittelt das Büchlein die Grundlagen und Methoden der Temperaturmessung, ohne auf Einzelheiten einzugehen. In einer Reihe von Kapiteln, die durch Beispiele erläutert werden, sind folgende Punkte behandelt worden: Begriff der Temperatur und Wärme, Ausdehnung der Stoffe, Fortführung der Wärme, die verschiedenen Meßgeräte, Temperaturskalen und Vergleich der Thermometer, Temperatur des Körpers und Kälte- und Wärmegefühl, Messung der Temperatur der festen Körper, der Flüssigkeiten und der Gase. Am Schluß des Büchleins sind einige Tabellen beigefügt, die mehrere Ungenauigkeiten aufweisen. So sind vor allem alle Gasdichten zu klein angegeben. *Otto.*

Henry T. Brown, Bewegungsmechanismen. Übersetzt von O. von Pelser-Berenberg. Erweitert von F. Wilcke. 2. Aufl. 8°. IV, 228 S. mit 588 Fig. Leipzig 1926, Alfred Kröner. Geb. 7,00 M.

Das englische Buch „507 Bewegungsmechanismen von H. T. Brown" ist in einer großen Zahl von Auflagen erschienen und auch bei uns verbreitet. Diese Verbreitung noch zu erhöhen, war der Zweck der jetzt in zweiter Auflage vorliegenden deutschen Übersetzung. Leider hat man die Gelegenheit vorübergehen lassen, die Mechanismen einmal nach kinematischen Gesichtspunkten zu ordnen und so der Wichtigkeit kinematischer Kenntnisse Rechnung zu tragen. Das hätte sogar die „Neueren Konstruktionen" des Abschn. II (rd. 56 S.), die zum großen Teil aus dem Rahmen der Mechanismen herausfallen, entbehrlich gemacht. Die wiederholte Verwechslung der Begriffe Wende- und Wechselgetriebe würde in einer neuen Auflage richtig zu stellen sein.

Die hier gemachten Ausstellungen treten zurück hinter dem zweifellosen Nutzen, den das Brownsche Buch in der deutschen Übersetzung gerade der feinmechanischen Technik vermitteln kann. *G.*

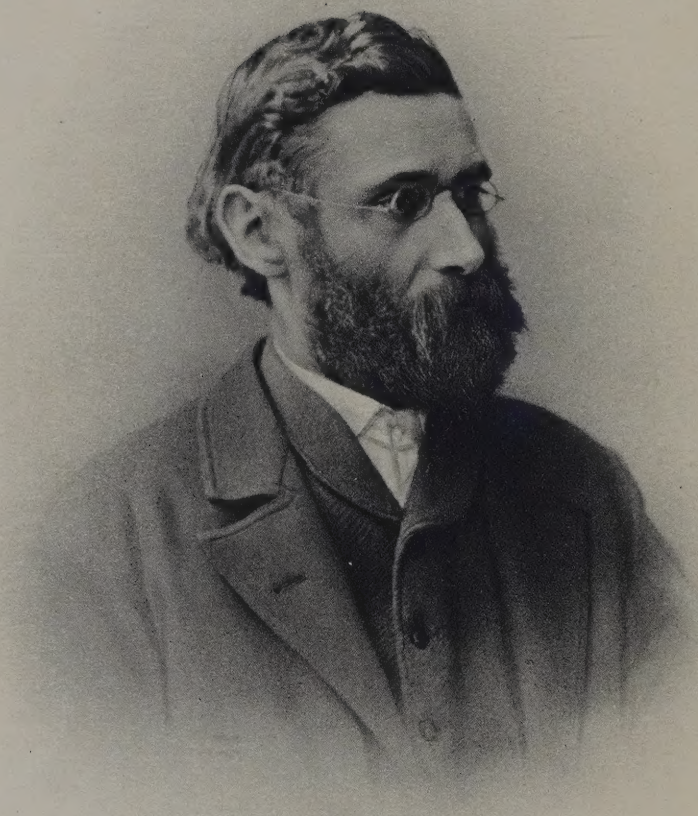
A. Kistner, Deutsche Meister der Naturwissenschaft und Technik. Bd. I u. II. 2. verm. Aufl. Kl.-8°. 198 S. mit 7 Bildn. bzw. 212 S. mit 6 Bildn. Sammlung Kösel Nr. 102 u. 103. München 1925, J. Kösel & F. Pustet K.-G. 2,50 M.

Auf die hier vorliegenden Bändchen der Sammlung Kösel, deren bisher erschienene Veröffentlichungen uns bereits vorzügliches, meist sonst schwer zugängliches Bildungsgut vermittelt haben, sei hier besonders hingewiesen. Die fesselnd geschriebenen Lebensbilder beschäftigen sich vor allem mit den Männern, die die Grundlagen unserer ganzen wissenschaftlich-technischen Kultur geschaffen haben. Maßgebend für die Auswahl waren die Bildnisse im Ehrensaal des Deutschen Museums. Ihre Wiedergabe auf Kunstdruckpapier erhöht den Wert der beiden Veröffentlichungen. *G.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

THE LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF ILLINOIS



Dr. E. Abbe

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. E. **Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel** in Jena,
Prof. Dr. F. **Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **April 1928.** Viertes Heft.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1927.[1])

Allgemeines.

Zum Direktor der Abteilung III ist mit Wirkung vom 1. Januar 1927 Oberregierungsrat Professor Dr. Henning ernannt worden.

Im Laufe des Berichtsjahres sind infolge Erreichung der Altersgrenze in den dauernden Ruhestand getreten:

Oberregierungsrat und Mitglied, Geh. Regierungsrat Professor Dr. Jaeger mit Ablauf des Monats April;

Oberregierungsrat und Mitglied Prof. Dr. Grützmacher mit Ablauf des Monats Oktober.

Diese beiden Gelehrten waren jahrzehntelang an der Reichsanstalt tätig und haben entscheidenden Anteil an ihrer Entwicklung und ihren Erfolgen.

Die Reichsanstalt war beteiligt an folgenden internationalen Versammlungen:

1. an Sitzungen des internationalen Komitees und der Generalkonferenz für Gewichte und Maße vom 18. September bis 10. Oktober 1927 in Paris (Kösters),

2. an einer Beratung der Vertreter der 3 nationalen Institute (Bureau of Standards, Washington; National Physical Laboratory, Teddington; Physikalisch-Technische Reichsanstalt) über die Temperaturskale vom 21. bis 23. September 1927 in Teddington bei London (Henning),

3. an der Tagung des internationalen Physiker-Kongresses (Volta-Kongreß) in Como und Rom vom 10. bis 24. September 1927 (Paschen),

4. an dem internationalen technisch-wissenschaftlichen Kongreß für Telegraphie und Telephonie in Como vom 10. bis 15. September 1927 (Giebe),

5. an der Sitzung der internationalen Beleuchtungstechnischen Kommission in Bellagio vom 31. August bis 5. September 1927 (Gehrcke, Dziobek),

6. an der Tagung der internationalen Elektrotechnischen Kommission vom 4. bis 24. September 1927 in Bellagio und Rom (Schmidt).

Regierungsrat und Mitglied Dr. Behnken befindet sich seit 15. Oktober 1927 auf einer Dienstreise in Amerika zur Ausführung von Vergleichsmessungen über die Einheit der Röntgendosis.

Das neuerbaute Kältelaboratorium, dessen Maschinen- und Experimentierräume im Laufe des Jahres eingerichtet und in Betrieb genommen waren, wurde am 22. November 1927 durch Vertreter des Reichsministeriums des Innern und der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft sowie durch Berliner Kuratoriumsmitglieder besichtigt.

Das durch Einstellung von Mitteln in den Haushalt 1927 bewilligte Photochemische Laboratorium ist im Laufe des Sommers fertiggestellt. Das Laboratorium fand Unterkunft in 5 ausgebauten Bodenräumen des Chemiegebäudes und hat den Betrieb am 1. Oktober 1927 aufgenommen.

[1]) Auszug aus einem dem Kuratorium der Reichsanstalt im März 1928 erstatteten Bericht.

Präsidialabteilung.

1. Laboratorium des Präsidenten.

1. Vakuum-Spektroskopie[1]. Der Vakuumspektrograph enthält ein Konkavgitter von 1 m Krümmungsradius, geteilt vom National Physical Laboratory in Teddington. Er ist so konstruiert, daß die scharfe Justierung in Luft möglich ist und sich bei der Evakuierung nicht ändert. Die Kassette umfaßt ein Gebiet von 3000 Å der ersten Ordnung, z. B. die Gegend 0 bis 3000 Å der I. Ordnung. Die Anordnung ist veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 62).

Durch Ausdehnung der Untersuchung des Funkenspektrums Al II des Aluminiums auf das Schumann-Gebiet gelang die Serienanalyse der Singuletts dieses Spektrums. Dem tiefsten Term $3\,'S_0 = 151\,860,4\ \mathrm{cm}^{-1}$ entspricht das Ionisationspotential 18,744 Volt des Ions Al^+. Frühere Angaben Russells sind zu korrigieren, ebenso das Fowlersche Termschema des Spektrums Si III. Es folgt als tiefster Term von Si III $3\,'S_0 = 270\,170\ \mathrm{cm}^{-1}$ entsprechend 33,346 Volt. Das vollständige Termschema von Al II und das zugehörige Verzeichnis der Wellenlängen und Wellenzahlen ist veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 64).

Mit Hilfe einer innen mit Bor bestrichenen Zylinderkathode aus Kohle konnte das Termschema des Spektrum B I ergänzt werden (Anh. 1, Nr. 63).

2. Licht-anregung[2]. Einer Glimmentladung in Helium, Neon oder Argon wurden spärlich Fremdatome von Aluminium, Zink, Kadmium, Magnesium, deren erste und zweite Spektren gut bekannt sind, zugemischt und die Grenze der Anregung in dem negativen Glimmlicht, dem positiven Licht und in einem Ansatze zur Röhre des positiven Lichtes untersucht. Die Resultate lassen sich verstehen, wenn man annimmt, daß stets die Umwandlungsenergie des Grundzustandes in den nächst höheren metastabilen Zustand des Edelgases, also in Helium 19,73, Neon 16,6, Argon 11,5 Volt, zur Anregung dient. Die Anregung betrifft das neutrale Atom und außerdem im positiven Licht und besonders im negativen Glimmlicht das einfach geladene Ion des Fremdatoms.

Die Leuchterscheinungen sind bedeutend lichtstärker als bei Elektronenstoßversuchen und können daher zur Serienanalyse besonders der ersten Funkenspektren verwendet werden Anh. 1, Nr. 61).

2. Laboratorium für Radioaktivität.

3. Prüfungen radioaktiver Präparate[3]. Die Prüftätigkeit des Laboratoriums hat gegen das Vorjahr wiederum erheblich zugenommen. Es wurden 226 (99)[4] Radium- und 3 (18) Mesothor- und Radiothorpräparate nach der Gammastrahlenmethode geprüft. Der Gesamtgehalt dieser Präparate war 3561 mg Radium-Element äquivalent (2128).

An schwach radioaktiven Präparaten und Materialien wurden geprüft: 9 Erze und Erzrückstände, 1 Quellwasser, 1 Gasquelle, 6 Emanatoren und verschiedene künstlich aktivierte pharmazeutische und ähnliche Fabrikate.

4. Radium-Normallösungen[5]. Mit den von der Reichsanstalt für Eichzwecke ausgegebenen Radium-Normalampullen wurden besondere Kontrollversuche angestellt, welche die ausnahmslose Konstanz der Lösungen über einen Zeitraum bis zu fast 7 Jahren ergaben. Das selbst in der neuesten Literatur noch anzutreffende Vorurteil gegen derartige Lösungen ist daher unberechtigt. Im Berichtsjahr wurden 35 Ampullen abgegeben (Anh. 1, Nr. 42).

5. Magnetische Beeinflussung des Comptoneffekts[5]. Ein Versuch, den Comptoneffekt dadurch zu beeinflussen, daß der Streustrahler in ein Magnetfeld von 20000 Gauß gebracht wurde, verlief negativ (Anh. Nr. 1, 40).

6. Versuche über Atomzertrümmerung[3]. Die bisher vorliegenden Versuchsergebnisse über die Zertrümmerbarkeit der Elemente durch Alphastrahlen stehen selbst in den wesentlichsten Punkten noch vielfach im Widerspruch zueinander. Es wurden daher Versuche begonnen, bei welchen statt der bisher üblichen Szintillationsmethode die weit bequemere und sicherere Geigersche Methode des Spitzenzählers auf diese Probleme angewandt wurde. Da der Zähler auch auf Beta- und Gammastrahlen stark anspricht,

---

[1]) R. A. Sawyer und F. Paschen. [2]) Paschen, Frerichs. [3]) Bothe, Fränz.
[4]) Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf den vorjährigen Tätigkeitsbericht.
[5]) Bothe.

war es vor allem nötig, sehr reine Poloniumpräparate als Strahlenquellen zu verwenden. Es gelang solche herzustellen, bei welchen der Bruchteil anderer Radioelemente jedenfalls weniger als 10^{-7} betrug. Mit einer Anordnung, welche Atomtrümmer von mehr als 7 cm Reichweite nachzuweisen erlaubte, wurden zunächst alle Elemente vom Bor bis zum Kalzium mit Ausnahme der Edelgase untersucht; als zertrümmerbar erwiesen sich unter den angeführten Bedingungen Bor, Stickstoff, Magnesium und Aluminium (Anh. 1, Nr. 43).

Für quantitative Messungen mußte eine andere Versuchsanordnung gewählt werden, welche erheblich stärkere Strahlenquellen erforderte. Es gelang, aus der Radiumlösung der Reichsanstalt ein sehr reines Poloniumpräparat von etwa 1,3 mg Radiumäquivalent abzutrennen. Die hiermit unternommenen Versuche sind noch nicht abgeschlossen, haben aber bereits ergeben, daß so hohe Ausbeuten an Atomtrümmern, wie sie die Wiener Forscher auf Grund ihrer Versuche annehmen, nicht auftreten.

7. Meßinstrument für starke Alpha-Präparate[1].

Starke Alpha-Strahlenquellen, wie sie z. B. für Versuche über Atomzertrümmerung benötigt werden, lassen sich mit den üblichen Instrumenten nicht messen, da sie eine viel zu starke Ionisation erzeugen. Es wurde daher ein besonderes Instrument konstruiert, welches im wesentlichen aus einem sehr kleinen, praktisch als punktförmig zu betrachtenden Schutzringkondensator in Verbindung mit einem Goldblattelektrometer besteht. Außer zur raschen und bequemen Messung von Alphapräparaten kann das Instrument auch zur Strahlendiagnose (auf Reichweite und Homogenität) und zur Messung der Bremswirkung dünner Folien dienen (Anh. 1, Nr. 44).

8. Zerstreuung von Elektronen[2].

Die Theorie des Kreiselelektrons, sowie auch die neue Undulationsmechanik lassen besondere Erscheinungen bei wiederholter Zerstreuung von Elektronenstrahlen erwarten. Versuche in dieser Richtung wurden in Angriff genommen (Anh. 1, Nr. 41).

9. Höhenstrahlung[3].

Die Untersuchungen über das Verhalten der hochempfindlichen Strahlungsmeßgeräte wurden fortgesetzt und zwei Registrierapparate konstruiert, welche auf die Strahlungsapparate aufzusetzen sind. Ein besonders leichter, registrierender Strahlungsapparat, welcher für Pilotballonuntersuchungen dienen soll, ist im Bau.

Während der Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927 wurden Beobachtungen der durchdringenden Strahlung durchgeführt, welche keinen Einfluß der Verfinsterung erkennen ließen.

10. Gammastrahlung von Kaliumsalzen[3].

Bei Gelegenheit von Untersuchungen über die Reststrahlung von Strahlungsgeräten im Innern der Staßfurter Steinsalzlager wurde eine harte Gammastrahlung aufgefunden, welche von kaliumhaltigem Gestein ausging. Dieselbe Strahlung wurde bei technischem Kaliumchlorid gefunden, so daß anzunehmen ist, daß sie von Kalium ausgeht. Die Untersuchungen sollen fortgesetzt und auf andere Elemente, vor allem Rubidium, ausgedehnt werden.

3. Chemisches Laboratorium.

11. Hohlglas, Spiegelglas[4].

Untersucht wurden 71 verschiedene Glassorten für chemische Apparatur sowohl hinsichtlich des chemischen Verhaltens der Oberfläche als auch des Kerns. Die Prüfung mit Wasser von 98 bis 100° ist an einer großen Anzahl von Röhrenproben durchgeführt worden, behufs Feststellung einer Klasseneinteilung bei der Temperatur des siedenden Wasserbades (3 Stunden). Es wäre hierfür die nachstehende Klasseneinteilung bei Oberflächenprüfung zu empfehlen:

Hydrolytische Klassen	Alkaliabgabe (als Na_2O) in mg/1000 auf 1 qdm
1. Wasserbeständige Gläser	0—50
2. Resistente Gläser	50—150
3. Härtere Apparategläser	150—400
4. Weichere Apparategläser	400—1600
5. Mangelhafte Gläser	über 1600

Von Spiegelglas wurden 3 Proben auf ihr hydrolytisches Verhalten und Verwitterungsbeständigkeit (nach F. Mylius) untersucht.

---

[1]) Fränz. [2]) Bothe. [3]) Kolhörster. [4]) Fischer, Tepohl.

In neuerer Zeit wird bei der Hohlglasherstellung die Feuerpolitur durch einen geeigneten zweimaligen Kühlprozeß oft bedeutend verbessert. Es erscheint daher angezeigt, neben der Oberflächenprüfung auch stets die Probe am gekörnten Glas (nach Fischer und Tepohl) auszuführen und bei der Klasseneinteilung entsprechend zu berücksichtigen.

12. Optisches Glas[1]). Geprüft wurden 3 Proben für deutsche Fabriken und 19 Sorten einer großen französischen Firma, die ihren Katalog nach deutschem Muster durch Angabe der Verwitterungsalkalität (Av) vervollständigen will.

„Ultravit", ein in Deutschland hergestelltes für ultraviolette Strahlen durchlässiges Glas, erwies sich als schwerer verwitterbar wie ein gewöhnliches gutes Fensterglas.

13. Medizin- und Ampullengläser[1]). Die Neubearbeitung der Vorschriften des Deutschen Arzneibuches VI für die Prüfung dieser Gläser nach einer einfachen Methode, die auch vom Apotheker mit seinen Hilfsmitteln auszuführen wäre, war auf Grund eines Auftrages des Reichsministeriums des Innern der Gegenstand einer Besprechung von Vertretern der Reichsanstalt, des Reichsgesundheitsamts und der Deutschen Glastechnischen Gesellschaft. Den vom Chemischen Laboratorium gemachten Vorschlägen wurde zugestimmt Für Ampullen soll Glas verwendet werden, das mindestens der zweiten Klasse (resistent) genügt für Medizinflaschen die dritte Klasse (härteres Apparateglas). Ob die letztere Forderung an die Fabrikanten nicht zu hohe Anforderungen stellt, soll noch nachgeprüft werden, bevor der endgültige Bericht an das Ministerium geht.

14. Chemische Arbeiten für andere Abteilungen[1]). Analysen von „reinem" Magnesium (enthielt 0,4% Kadmium), Thermometerglas, Öl für Gasmesserfüllung, Metalle für Hebel von selbsttätigen Waagen, Monelmetalle und andere Legierungen

15. Gerichtliches Gutachten[2]). Ein obergerichtliches Gutachten war eingefordert worden, ob das Sprengen des Straßenpflasters mit Chlorkalziumlauge (zum Abbinden des Staubes) größere Glätte erzeugen kann als das übliche Sprengen mit Wasser. Auf Grund der hygroskopischen und viskosen Eigenschaften der Chlorkalziumlösungen sowie praktischer Versuche konnte die Frage bejaht werden.

16. Reines Nickel[3]). Als Verunreinigung von angeblich reinem Nickelmetall des Handels ist die Tonerde als Schlackenbestandteil von schädlicher Bedeutung.

Über die Herstellung von Nickel höherer Reinigungsstufen liegt eine größere Untersuchung vor, deren Ergebnis inzwischen veröffentlicht wurde.

17. Neue Elemente[4]). Aus verschiedenen Erdmineralien wurden im Anfang des Jahres 2 mg Rhenium isoliert. Mit Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft wurde im Juli und August eine längere Forschungsreise durch Südnorwegen unternommen. Das praktische Ergebnis waren etwa 250 kg Mineralien, z. B. Gadolinit, Kolumbit und Alvit, aus denen etwa 30 mg Rheniummetall abgeschieden wurden. Diese Menge gestattete eine eingehende Untersuchung der chemischen, analytisch wichtigen Eigenschaften des neuen Elements, sodaß mit finanzieller Unterstützung der Firma Siemens & Halske jetzt mit der Herstellung von 1 g Rhenium begonnen wurde. Zurzeit werden die höheren flüchtigen Oxyde untersucht und eine erste Atomgewichtsbestimmung durchgeführt.

Das Röntgenspektrum der vollständigen L-Serie wurde im photochemischen Laboratorium der Reichsanstalt aufgenommen und ausgemessen.

Im Juni dieses Jahres wurde gelegentlich eines Besuchs des Institut de recherches physiques von Prof. Dauvilliers, Paris, ein rheniumhaltiges Präparat untersucht. Dieser fand in Übereinstimmung mit den diesseitigen Beobachtungen die stabilen Linien $L\alpha_1$, $L\alpha_2$, und $L\beta_1$ der L-Serie des Re.

Im November wurde Herrn Prof. Siegbahn-Upsala ein Rheniumpräparat für eine Präzisionsmessung der L-Serie übergeben. Nach einer privaten Mitteilung liegen die ersten Messungen an den starken Linien schon vor.

---

1) Fischer, Tepohl. 2) Fischer.
3) Mylius a. Gast.
4) W. Noddack und I. Noddack a. Gast.

4. Laboratorium für Feinmechanik und Akustik[1]).

18. Allgemeines.

Die im Berichtsjahr gemachten Erfahrungen haben bestätigt, daß die in den jetzigen Arbeitsräumen auftretenden Erschütterungen zeitweise erheblich sind. Die als Grundlage für die akustischen Messungen dienende Hauptuhr mit Riefler-Pendel zeigte wiederholt früher nicht beobachtete Unstetigkeiten des Ganges; ebenso eine zur Prüfung eingereichte Halbsekundenuhr mit elektrischem Antrieb. Auch andere Prüfungen wurden beeinträchtigt.

19. Prüfungsarbeiten.

Die Prüfungsarbeiten erstreckten sich auf folgende Gegenstände:

Leitspindeln 54 (54),	Stoppuhren 1 (0),
Normalgewinde 18 (63),	Pendeluhren 1 (0),
Normalwinkel 7 (0),	Chronographen 1 (0),
Kaliberringe 10 (2),	Stimmgabeln 99 (123),
Mikrometer 3 (0),	davon a-Gabeln 34 (66),

Messungen für die Reichsanstalt 10 (8).

Im einzelnen ist zu den Prüfungen folgendes zu bemerken.

20. Steigungsprüfer für Leitspindeln.

Der im vergangenen Berichtsjahr unter 22 bereits erwähnte Steigungsprüfer für Leitspindeln (Zeiss) ist nunmehr fertiggestellt. Der Unterbau von 4 m Schienenlänge und andere Zubehörteile sind von der Firma Schuchardt & Schütte A.-G. unter teilweiser Mitwirkung der Hauptwerkstatt der Reichsanstalt ausgeführt worden. Der Zeisssche Steigungsprüfer bildet eine wertvolle Ergänzung der für Leitspindelprüfungen bisher ausschließlich zur Verfügung stehenden Komparatormethode.

21. Gewindeprüfungen. a) Zylindrische Normalgewinde.

Einige Gewindeprüfungen erforderten außergewöhnlich viel Arbeitszeit, weil es sich um strittige Werte für den Flankendurchmesser handelte. Sie waren erschwert durch die in den letzten Jahren wesentlich gesteigerten Genauigkeitsforderungen, die — in den vorliegenden Fällen wenigstens — infolge innerer Ungleichmäßigkeiten der Normalgewinde und noch zu überwindender Mängel der Meßmethoden nicht voll erreichbar waren.

Die zurzeit für Gewindeprüfungen geltenden Gebühren stehen allgemein außer Verhältnis zu dem Zeitaufwand, so daß ihre Erhöhung erwogen werden muß.

Das Flankenmeßgerät der Reichsanstalt hat inzwischen eine wesentliche Verfeinerung erfahren durch Anbringung eines einfachen Druckindikators, mit dem der Berührungsdruck der Meßschneiden auf weniger als 1 g konstant gehalten werden kann.

b) Konische Normalgewinde.

Der Röhrenverband, als Verkaufszentrale der Deutschen Röhrenwalzwerke, ist an die Reichsanstalt mit dem Ersuchen herangetreten, die periodische Überwachung der auf dem Kontinent befindlichen konischen Normalgewinde zu übernehmen, wie es in Amerika durch das Bureau of Standards und in England durch das National Physical Laboratory in Teddington geschieht. Die Reichsanstalt, von der wirtschaftlichen Bedeutung der Frage überzeugt, hat sich hierzu bereit erklärt, nachdem der Röhrenverband die zur Schaffung der Prüfeinrichtungen erforderlichen Mittel zur Verfügung gestellt hat.

Es handelt sich dabei um die Prüfung von konischen Gewinden bis zu rd. 60 cm Durchmesser, und zwar im wesentlichen um die Bestimmung des Flankendurchmessers an vorgeschriebenen Punkten des Gewindes, des Flankenwinkels, der Verjüngung, der Steigung und der Beschaffenheit des Gewindegrundes. Die hierzu erforderlichen Apparate und Hilfseinrichtungen sind in Arbeit genommen und z. T. bereits beschafft.

22. Normalwinkel.

Normalwinkel lagen zum ersten Male zur Prüfung vor. Es handelte sich dabei sowohl um rechte, sogen. Anschlagwinkel mit verstärktem kurzen Schenkel als auch um Einstellwinkel vom errechneten Sollwert für Schneckenrad-Fräsmaschinen.

Die ersteren konnten auf den für Kegellehren vorgesehenen, auf dem Autokollimationsverfahren beruhenden Meßstand geprüft werden. Die Messungen wurden bei $+20^0$ und $+40^0$ vorgenommen und bestätigten die im Werkstattsgebrauch gemachte Erfahrung, daß Anschlagwinkel bei Temperaturschwankungen ihren Winkelwert ändern. Bei drei derart beobachteten Winkeln ergaben sich Änderungen von $+22''$, $+19''$, $+31''$, also im gleichen Sinne. Rückkehr auf die Zimmertemperatur ergab die früheren Werte. Die Gründe für dieses Verhalten ließen sich noch nicht ermitteln.

---

[1]) Göpel, Werner, Conrat.

Für die Messung von Normalwinkeln beliebiger Größe, so für zwei Einstellwinkel von 26° 45′ bzw. 43° 18′ wurde die Wanschaffsche Teilmaschine als behelfsmäßiges Goniometer mit Vorteil verwendet.

23. Innenmeßeinrichtung. Zur Bestimmung von Innendurchmessern bei Ring- und Rachenlehren wurde im Berichtsjahr die Zeisssche Innenmeßeinrichtung mit zugehörigem wagrechten Optimeter beschafft. Als Vergleichsmaß dienen hier aus vorhandenen Parallelendmaßen zusammengesetzte Rachenlehren.

24. Stimmgabel-Prüfungen. Den größten Teil der Zeit nahmen Prüfungs- und Berichtigungsarbeiten an Stimmgabeln, in erster Linie für das Physikalisch-mechanische Institut von Prof. Edelmann & Sohn in München, mit über 200 absoluten Bestimmungen in Anspruch. Hierbei wurden durch umfangreiche Messungen 26 neue Stimmgabelnormale geschaffen, 6 vorhandene nachbestimmt und durchweg in guter Übereinstimmung mit ihrem früheren Wert gefunden. Die sehr dringliche Herstellung von massiven Stimmgabelnormalen für höhere Frequenzen mußte wegen Mangels an Mitteln vorläufig zurückgestellt werden.

Bei dem seltenen Fall der Wiedereinreichung einer vor 39 Jahren beglaubigten A-Gabel zeigte sich die Tonhöhe noch innerhalb der Genauigkeitsgrenze richtig, trotzdem der blaue Überzug stellenweise durch Rost angegriffen war.

25. Kammerton-Frage. Die Aufstellung von selbstregistrierenden Thermometern in der städtischen Oper ergab u. a., daß die Temperatur im Orchesterraum während der Aufführung durchschnittlich um 4° stieg.

26. Uhrenprüfungen. Bei der Prüfung einer Stoppuhr wurde versuchsweise mit Erfolg der springende Zeiger als Kontaktgeber benutzt, indem man eine mikrometrisch einstellbare Kontaktzunge aus dünnster Platinfolie vor dem Zeiger bewegen ließ. Die Kontakte wurden auf dem Streifenchronographen registriert.

Eine elektromagnetisch angetriebene Halbsekunden-Pendeluhr für den Hausgebrauch (System „Ato“ der Firma Haller & Benzing A.G. in Schwenningen a. N.) wurde antragsgemäß auf ihre Gangleistungen untersucht. Die Uhr zeigte in erschütterungsfreien Perioden, u. a. während 16 Tagen, tägliche Gänge von weniger als $\pm$ 1 s; die Spannung des Antriebselementes fiel in 165 Tagen um nur 0,07 V.

Für die Firma H. Wetzer in Pfronten wurde ein Dreischreiber-Chronograph mit Sirenenfeder-Regulator einer eingehenden Prüfung unterworfen. Vor allem war festzustellen, ob der Aufzugszustand des Federhauses die Gleichförmigkeit des Streifenablaufes beeinflußte. Um besonders einwandfreie und gut meßbare Zeitmarken zu erhalten, ersetzte man den Papierstreifen durch glattes, berußtes Manganinband von $10 \times 0{,}1\ mm^2$, dessen Transport nach geringer Verstärkung des Reibungsdruckes sicher erfolgte. Als Zeitzeichen dienten die Wellenzüge einer Stimmgabel von rd. 100 DS. Die Ausmessung erfolgte mit einem Zeissschen Meßmikroskop. Die zahlreichen Beobachtungen ergaben eine sehr geringe, kaum noch zu verbürgende Abhängigkeit der Streifengeschwindigkeit vom Aufzugszustand. Versuche, diese minimalen Änderungen auch in der Tonhöhe der Sirenenfeder festzustellen, waren negativ.

27. Laboratorium für Uhrentechnik. Für die Übernahme des Laboratoriums für Uhrentechnik, dessen Planung unter lfd. Nr. 25 des vorjährigen Tätigkeitsberichtes erwähnt ist, haben inzwischen eine ganze Reihe von Stellen, namentlich Technische Hochschulen, ihr Interesse bekundet, aus dem mit Sicherheit zu schließen ist, daß die Reichsanstalt für die Übernahme des Laboratoriums nicht mehr in Frage kommt.

Unabhängig von der Gesellschaft für Zeitmeßkunde und Uhrentechnik hat sich die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft der Angelegenheit angenommen und in einer von Staatsminister von Schmidt-Ott am 7. 12. 1927 einberufenen Sitzung von Sachverständigen unter Mitwirkung von Vertretern der Reichsanstalt erwogen, auf welchem Wege Einzelforschungen auf dem Gebiete der Uhrentechnik in die Wege zu leiten seien. Eine Unterkommission, in der auch die Reichsanstalt vertreten war, wurde mit der Aufstellung eines Arbeitsprogrammes beauftragt, über dessen Ausführungsmöglichkeit sich die Reichsanstalt demnächst gutachtlich äußern soll.

28. Winkelmesser für Unterrichtszwecke. Der unter lfd. Nr. 24 im vorjährigen Tätigkeitsbericht erwähnte Winkelmesser ist von der Staatl. Hauptstelle für den naturwissenschaftlichen Unterricht als geeignet für den Schulgebrauch befunden worden und nunmehr in der Reichsanstalt ein zweites, vereinfachtes Modell für die fabrikmäßige Herstellung des Gerätes entworfen und angefertigt worden.

Herr Theodor Heele in Berlin schenkte dem Laboratorium eine Präzisions-Pendeluhr, ein Marinechronometer, sowie eine Auswahl wichtiger wissenschaftlicher Bücher und Zeitschriften. *29. Zuwendungen.*

Die Firma Haller & Benzing A.G. in Schwenningen a. N. überließ dem Laboratorium geschenkweise die hier geprüfte elektrische Uhr.

Die Schuchardt & Schütte A.G. in Berlin ermöglichte durch besonderes Entgegenkommen die Konstruktion und Beschaffung des Unterteiles für den neuen Leitspindel-Prüfapparat.

5. Photochemisches Laboratorium.

Das im Haushaltsplan 1927 bewilligte neue Laboratorium fand Unterkunft in 5 Bodenräumen des Chemiegebäudes, die zu diesem Zwecke umgebaut wurden. Das Laboratorium wurde am 1. Oktober in Betrieb genommen. *30. Allgemeines.*

Das photochemische Laboratorium übernahm in seinen Arbeitsplan die photochemischen Arbeiten, die bisher im chemischen Laboratorium ausgeführt wurden.

Der Energieumsatz bei der Zersetzung des Bromsilbers unter dem Einfluß verschiedener Strahlenarten wurde weiter verfolgt, z. T. in Zusammenarbeit mit dem wissenschaftlichen Laboratorium der I. G. Farbenindustrie, Werk Agfa. *31. Energieumsatz bei der Zersetzung des Bromsilbers[1]).*

Bei der Einwirkung von Röntgenstrahlen ($\lambda = 0,5$ Å) auf Bromsilber macht jedes absorbierte $h\nu$ etwa 1000 Silberatome frei, unabhängig von der Art der Emulsion. Weiterhin findet sich für jedes absorbierte $h\nu$ Röntgenstrahlung in der entwickelten Platte 1 Silberkorn.

Die Untersuchung über die Gründe der Nichtgültigkeit des Reziprozitätsgesetzes für photographische Platten ergab bisher folgende Resultate: *32. Nichtgültigkeit des Reziprozitätsgesetzes für photographische Platten[1]).*

a) Der photolytische Vorgang der Bromsilberzersetzung gehorcht in weiten Grenzen dem Reziprozitätsgesetz; die Menge des ausgeschiedenen Silbers ist eindeutig bestimmt durch die Lichtmenge und unabhängig von der Intensität und von der Belichtungszeit.

b) Die starke Abhängigkeit der entwickelten Schwärzung von der Lichtintensität wird durch verschiedenen Verteilungszustand des vom Licht verschiedener Intensität gebildeten Silbers erklärt.

Bei Bromsubstitutionen einer Reihe von Kohlenwasserstoffen wurde der Energieumsatz bei Bestrahlung mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 4358$ Å untersucht. *33. Energieumsatz bei Bestrahlung[2]).*

a) Mit dem neu aufgestellten Röntgenspektrographen großer Dispersion wurden 16 Linien der L-Serie des Rheniums aufgenommen. Die gemessenen Wellenlängen sind in Tab. 1 angegeben. *34. Röntgenspektroskopie[3]).*

Tabelle 1. L-Serie des Rheniums.

α_1	1429,8 X-E.	β_8	1198,0 X-E.
α_2	1440,7 „	γ_1	1058,7 „
β_1	1235,9 „	γ_2	1029,8 „
β_2	1203,8 „	γ_3	1023,5 „
β_3	1217,6 „	γ_6	1034,3 „
β_4	1256,3 „	l	1627,3 „
β_5	1174,7 „	η	1370,6 „
β_6	1248,1 „	β?	1205,7 „

b) Mehrere chemische Analysen des chemischen Laboratoriums wurden durch die Röntgenspektroskopie unterstützt.

Während das Verhalten gasförmiger Photolyte zum Einsteinschen Äquivalentgesetz im allgemeinen gut bekannt ist herrscht hinsichtlich des Verhaltens tropfbar flüssiger Lösungen von Photolyten noch Unklarheit. Nach den bisherigen Versuchen versagt das Gesetz bei wäßrigen Lösungen, während es sich bei anderen Lösungen vielfach bestätigt hat. Um diesen Unterschied näher zu prüfen, haben wir das Verhalten desselben Stoffs, und zwar des Jodwasserstoffs, in wäßriger und in Hexanlösung untersucht. *35. Photolyse tropfbar flüssiger Lösungen[4]).*

Für die Hexanlösungen ergab sich die spezifische photochemische Wirkung φ (Mol JH zersetzt pro absorbierte gcal) mit wachsender Wellenlänge wachsend und zwar etwas schneller als das Äquivalentgesetz verlangt, ferner mit wachsender Konzentration (Normalität n) langsam zunehmend und

[1]) Noddack. [2]) Meidinger. [3]) Beuthe.
[4]) Warburg und Rump als Gäste.

endlich zwischen p und $2p$ liegend, wo p die bei quantenmäßiger Absorption beanspruchten Mol des Photolyten pro absorbierte gcal bedeutet. Würde wie bei gasförmigem JH dieser primär durch die Strahlung gespalten und durch jedes in Freiheit gesetzte H-Atom wiederum JH gespalten, so wäre $\varphi = 2p$. Da aber die H-Atome vielfach zunächst mit Hexanmolekeln zusammenstoßen, so werden sie nur zum Teil JH spalten und dieser Teil wird um so größer sein, je größer die Normalität des JH, daher liegt φ zwischen p und $2p$ und wächst etwas mit n.

In folgender Tabelle sind einige Werte von φ für Lösungen in Wasser und in Hexan zusammengestellt.

Tabelle für $\varphi \cdot 10^5$. $\lambda = 0{,}222\,\mu$.

n	0,01	0,08	0,8	3,75	7,5
Hexan . . .	0,941	0,960	1,190	—	—
Wasser . .	0	sehr klein	0,061	0,356	0,943

Mit abnehmender Normalität n nimmt die photochemische Wirkung φ für Hexanlösungen nur langsam, für wäßrige Lösungen sehr bedeutend ab, und ist hier für $n = 0{,}01$, bei vollständiger Absorption, gleich Null gefunden. Nun ist für $n = 0{,}01$ das molekulare Leitungsvermögen Λ nur wenig von Λ_∞ verschieden, die JH-Säure also fast vollständig dissoziiert. Daher folgt aus dem letztgenannten Versuch, daß aus Jodionen kein Jod durch Bestrahlung gebildet wird. JH in Wasser gelöst gehört zu den sog. starken Elektrolyten, über deren Verhalten bei größerer Normalität verschiedene Ansichten herrschen. Diejenigen Autoren, nach welchen die starken Elektrolyte stets vollständig dissoziiert sind, müßten die Zunahme der photochemischen Wirkung mit wachsender Normalität nach ihren Anschauungen erklären. Wir nehmen vorläufig, andern folgend, an, daß JH, mit wachsender Normalität zunehmend, teilweise assoziiert ist, daß der assoziierte JH der Photolyt ist und daß mithin nicht, wie es in obiger Tabelle geschah, die ganze Absorption, sondern nur die auf den assoziierten JH entfallende in Rechnung zu stellen ist. Die so erhaltenen wahren φ-Werte werden deshalb erheblich größer als die scheinbaren der Tabelle, besonders bei kleiner Normalität. Für Hexanlösungen ist das spezifische Leitungsvermögen so klein, daß die elektrolytische Dissoziation des JH gänzlich vernachlässigt werden darf.

6. Kältelaboratorium[1]).

Das neue Kältelaboratorium enthält Anlagen zur Verflüssigung von Stickstoff, Sauerstoff, Wasserstoff und Helium. Die verflüssigten Gase werden zum Teil im Laboratorium, zum Teil in anderen Laboratorien der Reichsanstalt verwendet. Im Kältelaboratorium sind auch Räume für etwa 3 wissenschaftliche Gäste eingerichtet. Ferner kann flüssiger Wasserstoff an andere Stellen Groß-Berlins abgegeben werden. Mit Rücksicht hierauf hat die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft zu den vom Reich bewilligten Mitteln erhebliche Zuschüsse gegeben, die hauptsächlich zur Einrichtung der Laboratorien dienten. Aus dem Notgemeinschaftsfonds sind im Berichtsjahre auch noch die Aufwendungen für den Betriebsleiter, die Laborantin und den Maschinenschlosser sowie ein Teil der laufenden Ausgaben für Wasserstoff usw. bestritten worden. Die Entscheidung über Anträge auf Zulassung als wissenschaftlicher Gast des Kältelaboratoriums oder auf Lieferung von flüssigem Wasserstoff erfolgt durch einen Ausschuß, dem die Präsidenten der Reichsanstalt und der Notgemeinschaft, der Leiter des Kältelaboratoriums und als Vertreter der Hochschulen Professor v. Laue angehören. Eine kurze Veröffentlichung über das Kältelaboratorium ist erfolgt (Anh. 1, Nr. 47), eine ausführliche in Vorbereitung.

36. Luftverflüssigung. Die von der Linde-Gesellschaft unter Heranziehung der Heylandt-Gesellschaft bezogene Anlage gestattet 20 l/h flüssigen Stickstoff mit etwa 3 % Sauerstoff oder 6 l/h flüssigen Sauerstoff mit etwa 3 % Stickstoff herzustellen. Auch kann sie normale flüssige Luft liefern. Von Anfang Juli bis Ende des Jahres wurden insgesamt 2700 l flüssiger Stickstoff und flüssige Luft hergestellt. Vom 1. November an wurde der gesamte Bedarf der Reichsanstalt an flüssiger Luft vom Kältelaboratorium gedeckt, und zwar wurden an andere Laboratorien im November 372 l, im Dezember 196 l abgegeben, im Kältelaboratorium selbst verbraucht im November 308 l, im Dezember 388 l.

[1]) Meißner.

37. Wasserstoffverflüssigung.

Die neue Anlage ist für etwa 10 l Flüssigkeit in der Stunde eingerichtet und unterscheidet sich von der bisherigen außer durch die Größe hauptsächlich durch Hinzunahme eines Gasbehälters von 10 m³ Fassungsvermögen und Aufstellung der Wasserstoffflaschen außerhalb des Maschinenraumes in einem Anbau. Die Leistungsfähigkeit des neuen Kompressors von 60 m³ Ansaugsleistung in der Stunde wird zur Zeit noch nicht voll ausgenutzt, da der alte bisher noch benutzte Gegenströmer bei voller Tourenzahl des Kompressors nicht ganz ausreicht. Der Bau eines vergrößerten Gegenströmers ist in Vorbereitung. Im Berichtsjahr wurden insgesamt 519 l flüssiger Wasserstoff hergestellt. Davon wurden verwendet: in anderen Laboratorien 94 l für spektroskopische Untersuchungen, 82 l für Untersuchungen über thermische und elektrische Leitfähigkeit sowie über Elastizitätskonstanten, 65 l für thermometrische Messungen und Isothermenbestimmungen, 25 l für Ausdehnungsmessungen an festen Körpern, 39 l für Volumbestimmungen an kondensierten Gasen, im Kältelaboratorium 26 l für verschiedene Zwecke, 188 l für Heliumverflüssigung, Neon-Helium-Trennung und Heliumreinigung.

38. Heliumbeschaffung.

Der Heliumvorrat wurde im Berichtsjahr von 900 l auf mehr als 3000 l erhöht. Das Helium wurde zum Teil aus Neon-Helium-Gemisch gewonnen, das die Linde-Gesellschaft wiederum zur Verfügung stellte, zum Teil aus Rohhelium mit etwa 70% Helium, das die Auer-Gesellschaft zu Selbstkosten lieferte und von ihr durch Glühen von Monazit-Sand erhalten wird. Die Reinigung dieses Rohheliums, dessen Verunreinigungen aus Wasserstoff, Kohlensäure und Luft bestehen, erfolgt mit Hilfe von glühendem Kupferoxyd, flüssiger Luft und flüssigem Wasserstoff. Dabei konnte bei einer Strömungsgeschwindigkeit von etwa 3 l/Min. nahezu spektral reines Helium gewonnen worden. Es sind weitere 3000 l Helium bei der Auer-Gesellschaft mit Hilfe des Notgemeinschaftsfonds bestellt. Aber auch die Trennung von Neon-Helium-Gemisch wird weiter fortgesetzt.

39. Heliumverflüssigung.

Die alte Heliumverflüssigungsanlage ist unverändert im neuen Gebäude aufgestellt worden nur wurden zwei weitere Gasbehälter von je 250 l Fassungsvermögen hinzugenommen. Ferner sind schon Rohrleitungen von den Gasbehältern und Pumpen in die Experimentierräume geleitet, um auch in ihnen mit flüssigem Helium arbeiten zu können, sobald es gelingt, das flüssige Helium aus dem Verflüssiger in andere Gefäße überzuhebern. Versuche in dieser Hinsicht werden ausgeführt werden, sobald die im Gange befindlichen Messungen mit Hilfe von flüssigem Helium einigermaßen abgeschlossen sind.

40. Spezifische Wärme des gasförmigen Heliums bei 4° abs.[1]

Nach der Neuaufstellung der Heliumverflüssigungsanlage wurden im Dezember die schon früher begonnenen Messungen über die spezifische Wärme des gasförmigen Heliums bei 4° abs. mit Hilfe eines Vakuumkalorimeters wieder aufgenommen. Das Helium ist dabei in eine Stahlkapsel von etwa 14 cm³ Rauminhalt eingeschlossen und hat bei 4° abs. etwa 0,7 at abs. Druck. Um die Abkühlung der im Vakuum aufgehängten Stahlkapsel, die zur Heizung und Temperaturmessung eine Bewicklung von Konstantan besitzt, zu bewirken, war versucht worden, die Kapsel durch einen kleinen Elektromagneten kräftig gegen die mit Kupferpolster oder dgl. versehene äußere Wandung des Kalorimeters zu ziehen. Doch zeigte sich wider Erwarten, daß bei hohem Vakuum des Zwischenraums der Wärmeübergang zwischen Stahlkapsel und Kalorimeterwandung so gering ist, daß die Abkühlung der Kapsel mehr als 1 Stunde dauert. Es mußte daher wieder dazu übergegangen werden, den Zwischenraum in üblicher Weise zunächst mit Helium zu füllen und erst nach Abkühlung auf 4° abs. zu evakuieren, obwohl auch hierbei zur Erzielung genügend hohen Vakuums eine Zeit von etwa 15 Minuten erforderlich ist. — Die bisher erhaltenen Resultate machen noch eine Verbesserung der Apparatur zur Erreichung größerer Genauigkeit wünschenswert. Ferner müssen die Messungen noch bei verschiedenem Druck des Gasinhalts ausgeführt werden, um auf den Wert der spezifischen Wärme bei sehr geringen Dichten extrapolieren zu können. Allein dieser Wert ist in den verschiedenen Theorien der Gasentartung berechnet, wobei allerdings noch die weitere, der Wirklichkeit widersprechende Annahme punktförmiger Moleküle gemacht ist.

Weitere Messungen mit Hilfe von flüssigem Helium sind im Bericht der Abteilung II mitgeteilt.

---

[1]) Meißner.

7. Hauptwerkstatt[1]).

41. Allgemeines. Im Jahre 1927 wurde die bisher geteilte Verwaltung der Materialien zusammengefaßt und der Hauptwerkstatt, bei der bisher schon die Werkstoffe verwaltet wurden, übertragen. Infolgedessen ist die Beschaffungs- und Abrechnungsarbeit erheblich gewachsen. Bei der ständigen Zunahme der Arbeitsaufträge und dem gegenüber der Vorkriegszeit verringerten Personalstand wirkte sich das zuungunsten der Leistungsfähigkeit der Werkstatt aus.

Die maschinelle Anlage wurde durch eine neue Mechanikerdrehbank mit Zangenspannung und Einzelantrieb und eine neue Kaltsäge verbessert; außerdem wurden die bisher auf Holzfußboden stehenden Maschinen fast sämtlich auf neu geschaffene Betonfundamente gestellt. Dadurch wurde, wie es Präzisionsarbeiten erfordern, ein ruhigerer Lauf der Maschinen erreicht.

Eine stärkere Erneuerung der maschinellen Einrichtungen wird sich in absehbarer Zeit nicht umgehen lassen.

42. Stempelungen. Der Umfang der Stempelungsarbeiten an Stimmgabeln, Hefnerlampen, magnetischen Materialien und anderen Prüfgegenständen hielt sich auf der gleichen Höhe, wie im Vorjahre.

43. Herstellung von Apparaten usw. An größeren Arbeiten wurden im Berichtsjahre u. a. vollendet:

1 Wassersiedeapparat mit elektrischer Heizung und Rückflußkühlung.
1 Vakuumspektrograph (mechanische Teile).
1 Interferenzapparat zum Prüfen von Platten (mechanischer Teil).
10 Stimmgabelnormale.
1 Spaltrohr mit großem, veränderlichem Spalt und feststehender Spaltmitte.
2 Präzisionsdrehkondensatoren.
2 Präzisionskondensatoren mit mikrometrischer Einstellung.
1 variabeles Ionisationsstandard.
1 Nickelofen mit Einrichtung zur Luftkühlung für Metalluntersuchungen.
1 Apparat zum Einstellen von Kugeln zur optischen Untersuchung ihrer Rundheit.
1 aus fünf Scheiben bestehender, verstellbarer rotierender Sektor.
1 Schneidenapparat für die Prüfung von Isolierstoffen bei höheren Temperaturen.

Noch in Arbeit befinden sich:

1 Druckwage für hohe Drucke.
1 Chronograph mit zwei Vorschubgeschwindigkeiten (Umbau).
8 Stimmgabeln hoher Frequenzen.
1 Druckapparat für hohe Temperaturen zum Abschmelzen von Quarzthermometern.

Außerdem wurden wieder eine Anzahl Kreis- und Linearteilungen ausgeführt, verschiedene Modelle, Schablonen zum Bespritzen von Isolierstoffprüfstücken, verschiedene Teile für ein neues Leitspindelprüfgerät, ein Winkelmeßgerät, ein Hochspannungsmeßgerät nach Dember, mehrere Reduzierventile besonderer Bauart, und mehrere Stimmgabelfundamente angefertigt. Daneben wurde das Laboratorium häufig zur Ausführung von Verbesserungen an Einrichtungen und Apparaten in anderen Laboratorien in Anspruch genommen, ebenso lagen wieder Reparaturen in größerer Zahl vor.

Die Arbeiten an dem bereits im Vorjahre erwähnten Druckapparat zum Abschmelzen von Quarzthermometern verursachte erhebliche Schwierigkeiten.

Der Leiter des Laboratoriums wurde wieder und in stärkerem Maße als früher als Beratungsstelle in Konstruktions-, Bearbeitungs- und Materialfragen, wie auch sonst in technischen Dingen in Anspruch genommen.

Die gesamte Hauptwerkstatt war, besonders im zweiten Halbjahr, immer über die Leistungsfähigkeit mit Aufträgen versehen, Tischlerei und Klempnerei weit über das Maß des zu Leistenden

[1]) Göpel, Keil.

Abteilung I.

Unterabteilung 1a.

Außer der Bearbeitung der laufenden, die Maß- und Gewichtsordnung betreffenden Fragen wurden folgende Arbeiten veröffentlicht: *44. Allg. Angel. des Maß- und Gewichtswesens*[1].

a) Bekanntmachung über das typographische Maßsystem (Mitt. 11. Reihe, S. 1).

b) Bekanntmachung, betreffend die Zulassung von Meßgeräten zur Eichung (Mitt. 11. Reihe, S. 25). [2]

c) Verordnung, betreffend Übergangsbestimmungen für die Neueichung von Meßgeräten (Reichsgesetzbl. I, S. 506). [3]

d) Verordnung, betreffend vorläufige Festsetzung von Eichgebühren (Mitt. 11. Reihe, S. 108). *45. Eichgebühren*[4].

e) Verordnung, betreffend Änderung und Ergänzung der Eichordnung (Reichsgesetzbl. I, S. 495). *46. Eichordnung*[5].

f) Gebührenordnung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht, vom 15. März 1927 (Reichsanzeiger Nr. 75). *47. Gebühren der Abteilung I.*

26 OLG.-, 5 LG.-, 40 AG.-Urteile gingen ein und wurden bearbeitet. Zum Abdruck kamen 1927 in den „Mitteilungen" 2 AG.- und 2 OLG.-Urteile. Weitere 4 OLG.-Urteile wurden in der *Juristischen Wochenschrift* besprochen. Bei den übrigen Urteilen traten neue Gesichtspunkte nicht hervor. *48. Maß- und Gewichtsrecht*[6].

Die Reichseichstatistik für das Geschäftsjahr 1924 wurde in den „Mitteilungen" 11. Reihe zum Abdruck gebracht. Die nächsten beiden Jahrgänge sind in Bearbeitung. *49. Eichstatistik*[6].

Laboratorium 1b.

Es wurden geprüft und beglaubigt: *50. Prüfungen und Beglaubigungen*[7].

275	Parallelendmaße,
16	zylindrische Endmaße,
10	Kugelendmaße,
72	Endmeter (Stahl mit schneidenförmigen Enden),
2	Endmaßstäbe zu 2 m mit schneidenförmigen Enden,
1	Strichmeter ersten Ranges (Nickelstahl), mit Ausdehnung,
11	Strichmeter geringerer Güte (Stahl, Messing),
8	Strichmaße (Stahl, Glas, Quarz) unter 1 m,
4	Strichmaße (Stahl) über 1 m,
2	Objektmikrometer aus Metall mit Teilung in 0,01 mm,
14	Meßkeile (Stahl),
19	Bandmaße (Stahl) von 5 bis 50 m,
2	Bandmaße (Nickelstahl) mit Ausdehnung,
2	Barometerhüllrohre,
2	Trägheitszylinder,
1	Regenmesser nach Hellmann,
12	Meßgeräte verschiedener Art für Getreideprober,
28	Meßgeräte verschiedener Art für Seeschiffsvermessung,
266	Meßgeräte verschiedener Art für die Zollverwaltung.
zusammen 747	Gegenstände.

Außerdem waren verschiedene eichtechnische Fragen über Material und Form von Längen-Maßen und -Meßgeräten zu entscheiden.

Für das Reichsfinanzzeugamt wurde die Neukonstruktion eines Präzisionsfadenzählers begutachtet und nach mehreren Abänderungen beglaubigt. *51. Neuer Präzisionsfadenzähler*[8].

Gelegentlich der Bestimmung zweier Kathetometermaßstäbe aus durchsichtigem Quarzglas von *52. Ausdehnung von Quarzglas*[8].

---

[1] Kösters, Lampe. [2] Schönherr, Weymann, Thomas. [3] Kreuter. [4] Thomas.
[5] Schönherr, Schultze, Thomas, Kreuter, Kornatz, Hartmann, Blum.
[6] Drewitz. [7] Langbein, Lanzrath, Lampe, Neumann, Weber.
[8] Langbein, Neumann.

etwa 1 m Länge ist die thermische Ausdehnung des einen zwischen 0° und 32° bestimmt worden. Das Ergebnis von 0,42 μ pro Grad und Meter steht in befriedigender Übereinstimmung mit anderen bekannten Werten.

53. Verbesserung der optischen Einrichtung der Komparatoren[1]. Die jetzt bereits mehrfach zur Prüfung vorgelegten Objektmikrometer mit Teilung in 0,01 mm mit Strichbreiten von etwa 0,001 mm ließen die Notwendigkeit erkennen, solche Objekte mit Objektiven höherer Apertur und entsprechender Objektivvergrößerung zu untersuchen. Es ist beabsichtigt, zunächst die Teilmaschine mit 2 Mikroskopen von 100- und 200facher Vergrößerung zu versehen.

54. Direkte mikroskopische Messung von Endmaßen[1]. Zur Feststellung der Genauigkeit, mit der der Durchmesser der für Abt. II bestimmten Kondensatorplatten (vgl. Ziff. 113) sich mikroskopisch würde bestimmen lassen, sind einige Probemessungen am großen Komparator mit Einstellung auf die Endkanten von Endmaßen ausgeführt worden. Die Ergebnisse stimmen mit den interferometrisch ermittelten Längen der Endmaße auf Bruchteile von 1 μ überein, so daß bei guter Bearbeitung der Endkanten mit befriedigenden Ergebnissen zu rechnen ist. Die Messungen an den Platten selbst konnten bisher noch nicht ausgeführt werden, da sich die Herstellung der beiden Trägerplatten für die beiden Mikroskope am großen Komparator, die eine entsprechende Annäherung der beiden Mikroskope ermöglichen sollen, ziemlich lange verzögert hat.

55. Beschaffung und Bestimmung von 20°-Normalen für Strichmaßvergleichungen[2]. Die Beschaffung von 20°-Strichnormalen wurde soweit gefördert, daß jetzt ein brauchbares 20°-Stahlmeter mit Kantenteilung vorliegt, dessen Fehler 0,005 mm voraussichtlich nicht überschreiten; auch einige Musterstäbe für die Eichamtsausrüstung liegen bereits vor, so daß mit der baldigen Bestimmung und Ausgabe dieser Normale zu rechnen ist.

Ein 20°-Stahlbandnormal von 20 m Länge mit Zentimeterteilung ist vorläufig untersucht und scheint den zu stellenden Ansprüchen zu genügen

56. Stoffmeßmaschinen[3]. An Stoffmeßmaschinen für den Kleinhandel wurden zwei weitere Bauarten probeweise zugelassen.

57. Drahtmeßmaschinen[3]. Vier neue Bauarten von Drahtmeßmaschinen wurden probeweise zugelassen.

58. Flächenmeßgeräte[3]. *59. Ledermeßmaschinen*[3]. Drei Ledermeßmaschinen einer schon probeweise zugelassenen Bauart wurden an ihren Aufstellungsorten neu geeicht; ebenso wurden mehrere Nachprüfungen am Aufstellungsort vorgenommen. An einer im Laboratorium aufgestellten Ledermeßmaschine wurden Versuche über den Einfluß der Dehnung des Meßgutes (insbesondere dünner Leder) auf die Maßanzeige gemacht.

60. Planimeter[3]. Versuche über Zulassung neuer Bauarten von Planimetern sind im Gange.

61. Interferenzlängenmessungen[4]. *a) Interferenzkomparator.* Die Einführung der scharfen Kryptonlinien für Interferenzlängenmessungen machte einige Änderungen des neuen Absolut-Interferenzkomparators (Absolut-Inko) der Firma Carl Zeiss notwendig. Nachdem im roten und violetten Teil des Kryptonspektrums günstige Linien zur sicheren Bestimmung der Ordnungszahl der Interferenzstreifen bis zu 125 mm Endmaßlänge aufgefunden waren, konnte auf die Benutzung der Heliumlinien bei diesem Absolut-Inko endgültig verzichtet werden. Nur für einfachere Messungen bis zu 15 mm Endmaßlänge wird das alte Modell des Absolut-Inkos mit Heliumlinien benutzt. Die im Vorjahre bereits in den neuen Absolut-Inko eingebaute einfache Trennungsplatte mit 6 Minuten Keilwinkel wurde durch eine optisch besser geschliffene Platte ersetzt. Die Streifen im Gesichtsfeld des Inkos sind jetzt vollkommen geradlinig, so daß an den Messungen keine Korrektion wegen unregelmäßigen Verlaufes der Interferenzstreifen anzubringen ist. Weiterhin wurde die Brennweite des Beobachtungsrohres auf 400 mm erhöht. Die einfache runde Lochblende dieses Rohres wurde durch eine rechteckige, leicht auswechselbare und justierbare Blende ersetzt. Da infolge der tiefen Schwärze der Interferenzstreifen bei der Messung kurzer Endmaße mit Kryptonlicht das Fadenkreuz stellenweise unsichtbar wird, so wurde zur Aufhellung des Gesichtsfeldes eine Beleuchtungseinrichtung nach Art eines Gaußschen Okulares angebracht. Mit diesem für Krypton eingerichteten Absolut-Inko werden die laufenden Prüfungsanträge auf Messung von Endmaßen mit höchst erreichbarer Genauigkeit bis zu 200 mm Gesamtlänge ausgeführt.

b) Wellenlängenmessungen. Die im Vorjahre begonnenen Wellenlängenmessungen mit dem Absolut-Inko wurden fortgesetzt und zu einem vorläufigen Abschluß gebracht. Über die neue Meßmethode und die Resultate

---

[1] Langbein, Neumann. [2] Langbein, Kreuter, Neumann. [3] Lanzrath.
[4] Kösters, Lampe, Weber.

wurde gelegentlich der Physikertagung in Bad Kissingen berichtet (Anh. 1, Nr. 68). Die endgültigen Wellenlängen der ausgewählten Kryptonlinien wurden mit einem 150 mm Endmaß relativ zur roten Kadmiumlinie bestimmt. Es ergaben sich folgende Wellenlängen bei 760 mm Luftdruck, 20° C und 10 mm Feuchtigkeit:

Rote Kryptonlinie:	0,645 632 41 μ	
Gelbe „	0,587 094 63 μ	
Gelbgrüne „	0,564 959 24 μ	(Hauptnormale)
Violette „	0,450 237 90 μ	(relativ zu den drei ersten Linien gemessen).

Die Abweichungen gegen die früheren Messungen mit einem 100 mm Endmaß und anderen Endmaßen bleiben innerhalb 0,0001 Å.-E. Als brauchbarste Linie für die Interferenzlängenmessungen erwies sich die gelbgrüne Linie 5649, mit der noch Endmaße von 250 mm Länge absolut gemessen werden können. Eine ausführliche Zusammenstellung der Krypton- und Heliumwellenlängen, die von der Reichsanstalt für Interferenzlängenmessungen benutzt werden, ist nebst den gebrauchten Reduktionsformeln für den Brechungsexponenten der Luft in den Mitteilungen der Abt. I der Reichsanstalt, Reihe 11, Nr. 4, veröffentlicht worden. Es ist beabsichtigt, diese Messungen auf weitere Linien des Kryptonspektrums auszudehnen. Zwei scharfe Linien im Gelbroten sind vorgemessen.

c) Brechungsexponent der Luft.

Zur Reduktion der Wellenlänge auf den jeweiligen Luftzustand werden bei den Längenmessungen vorläufig die Formeln von Meggers und Peters benutzt. Die hohe Genauigkeit der Interferenzlängenmessung und der in Ausführung begriffene Meteranschluß machen eine Neubestimmung des Brechungsexponenten der Luft notwendig. Ein großes Gasinterferometer mit 1 m Kammern wurde von der Firma Carl Zeiss zur Verfügung gestellt.

Der Brechungsexponent der Luft läßt sich ohne weiteres nach der neuen Methode der Wellenlängenmessung durch Einsetzen eines längeren Endmaßes in eine Vakuumkammer bestimmen. Vorläufige Messungen mit der gelben Kryptonlinie ergeben einen Wert für den Brechungsexponenten dieser Linie, der größer ist als der Wert von Meggers und Peters und der sich den Werten von Traub und Pérard nähert. Bei diesen Messungen mußte die Kompression des Endmaßes durch den Luftdruck in Rechnung gestellt werden; allerdings ist diese Korrektion sehr klein.

d) Krypton-Normalröhren.

Die Lebensdauer der jetzt hergestellten Kryptonröhren wurde beim Betriebe mit Gleichstrom zu mehreren hundert Stunden festgestellt. An Verunreinigung ist in den bisher untersuchten Röhren nur Wasserstoff zu beobachten, der aber bei den interferometrischen Messungen nicht stört.

e) Feinstruktur der Kryptonlinien[1]*.*

Auf der diesjährigen Tagung des internationalen Komitees für Gewichte und Maße in Paris wurde auf den deutschen Antrag hin die ausgezeichnete gelbgrüne Kryptonlinie 5649 als zukünftiger Ersatz der unschärferen roten Kadmiumlinie (Normale I. Ordnung) in Aussicht genommen. Ein Beschluß der Generalkonferenz empfiehlt den nationalen Instituten, eine eingehende Untersuchung der gelbgrünen Kryptonlinie vorzunehmen. Aus den Beobachtungen von Gehrcke und Janicki, die vor kurzem (s. Tätigkeitsbericht 1925 Nr. 114 und *Ann. d. Phys.* ***81.*** *S. 314, 1926)* alle von ihnen untersuchten Kryptonlinien einfach und symmetrisch befunden und insbesondere bei der eingehend untersuchten lichtstarken grünen Linie 5570 weder mit Lummer-Gehrcke-Platten noch mit Fabry-Perot-Etalons eine Andeutung von Trabanten oder eine Unsymmetrie bemerkt haben, konnte nicht geschlossen werden, daß auch die für die Interferenzlängenmessungen weiterhin ausgewählten Kryptonlinien einfach sind. Da der Abteilung I zunächst keine geeigneten Interferenzapparate zur Verfügung standen, so wurde in Anbetracht der kurz bevorstehenden Tagung des Internationalen Komitees die Abteilung IV (Lau) gebeten, mit ihren versilberten Lummer-Gehrcke-Platten eine Untersuchung der in Aussicht genommenen Krypton-Normalen vorzunehmen. Bei dieser gemeinsamen Untersuchung wurden die rote und gelbgrüne Linie einfach befunden, während bei der violetten Linie 4502 und der hellgrünen Linie 5570 Zweifel bezüglich der Einfach-Struktur auftauchten. An der nachfolgenden weiteren Untersuchung der Krypton-Linien war Abteilung IV nicht mehr beteiligt. Mit einem Fabry-Perot-Interferometer von Hilger, einer 5 mm-Lummer-Gehrcke-Platte von 26 cm Durchmesser (der Firma Carl Zeiss gehörig

[1]) Lampe, Weber, Gremmer (Lab. des Präsidenten).

und von G. Hansen beschrieben) und einem großen Fabry-Perot-Etalon von 50 mm freier Öffnung (von G. Hansen hergestellt für die Hyperfeinstruktur-Untersuchung des Neonspektrums) wurde daher eine erneute Untersuchung einzelner Linien des Krypton-Spektrums ausgeführt. Als Spektralapparat wurde einer der hierfür besonders geeigneten Monochromatoren des Meteranschluß-Apparates benutzt. Vergleichende Beobachtungen zeigten, daß bei gleichem Dispersionsgebiet in dem hauptsächlich untersuchten äußersten roten bis grünen Spektralgebiet der große Etalon der anerkannt guten Zeiss-Planparallelplatte hinsichtlich des Auflösungsvermögens wesentlich überlegen war. Auch die Möglichkeit, beim Etalon den Plattenabstand und damit das Dispersionsgebiet veränderlich und günstig einzustellen, machte sich bei dieser Feinstrukturuntersuchung vorteilhaft bemerkbar. Bei der hellgrünen Linie 5770 und bei den Linien 7685, 8059, 8232 und 8508 konnten je zwei lichtschwache Trabanten verschiedener Intensität abgetrennt werden, die unsymmetrisch zu beiden Seiten der Hauptlinie liegen. Bei der Linie 8104 wurde nur ein Trabant gefunden. Der Abstand der Trabanten der Linie 5570 beträgt ungefähr 0,03 bis 0,04 Å.-E. Die grüne Linie scheidet daher als Wellenlängennormale aus. Bei der gelben, gelbgrünen und roten Linie, ferner auch bei den lichtstärkeren Linien im roten, gelben und grünen Teil des Krypton-Spektrums wurde keine Andeutung von Trabanten oder einer Unsymmetrie der Linien beobachtet. Bei der violetten Gruppe im Krypton-Spektrum konnten ebenfalls keine Anzeichen einer Feinstruktur gefunden werden. Jedoch ist in diesem Spektralgebiet das Auflösungsvermögen eines Etalons bereits wesentlich verringert. Gelegentlich dieser Untersuchungen, die wegen Platzmangels im Laboratorium des Herrn Präsidenten ausgeführt werden mußten, wurde auch der Zeeman-Effekt der wichtigsten Linien beobachtet. Die zur Normalen I. Ordnung vorgesehene gelbgrüne Linie 5649 zeigt ein normales Triplett. Absorptionsversuche zeigten, daß die ausgesuchten Kryptonlinien, insbesondere die gelbgrüne Linie keine nachweisbare Selbstumkehr haben. Nur im äußersten Rot wurden 8 Linien (7587, 7601, 8104, 8112, 8190, 8263, 8298, 8776) gefunden, die bereits in end-on-Stellung der Kryptonröhre ohne besondere Absorptionsröhre außergewöhnlich starke Selbstumkehr zeigen. Davon sind die Linien 7601, 8104 und 8112 schon von McLennan und R. Ruedy als Selbstumkehrlinien erkannt worden. Bei der von diesen Beobachtern als Selbstumkehrlinie festgestellten Linie 7854 konnte dagegen keine Selbstumkehr beobachtet werden. Eine Isotopenfeinstruktur wie beim Neon konnte bei normalen Temperaturen der Kryptonröhre nicht gefunden werden.

f) Meteranschluß.

Der für den Meteranschluß bestimmte große Doppel-Monochromator nebst Interferenzeinrichtung wurde im Laufe des Jahres von der Firma Carl Zeiss geliefert. Um die Lieferung des Apparates zu beschleunigen, war der Apparat, soweit möglich, aus normalen Fabrikationsteilen der Firma Carl Zeiss zusammengestellt worden. Dieser große Interferenzkomparator besteht prinzipiell aus zwei vollkommen identischen Absolut-Inkos, die gegeneinander zugewandt auf einem schweren eisernen Untergestell aufgebaut sind. Die optischen Teile der beiden Apparate setzen sich zusammen aus Kollimator und Beobachtungsrohr mit 60-mm-Apochromatobjektiven (Zeiss B), einem dreifachen Prismensatz konstanter Ablenkung nach Försterling und der abgeänderten Michelsonschen Interferenzeinrichtung, nur bestehend aus einer schwach keilförmigen Trennungsplatte und platinierter Referenzfläche von je 92 mm Durchmesser. Da die Methode des Meteranschlusses im Verlaufe der Messung eine Parallelverschiebung der Referenzflächen um 200 mm erfordert, so sind die Referenzflächen einschließlich ihrer Justiervorrichtungen auf schweren Schlitten montiert, die auf zwei geschliffenen Zylindern gleiten. Die für den Meteranschluß verwandten Endmaße werden zwischen beiden Apparaten auf einstellbaren Reitern aufgelagert. Die durch die großen Dimensionen bedingte Empfindlichkeit des schweren Apparates gegen Erschütterung machte es notwendig, ihn mit dünnen Stahldrähten und Federn an der Decke aufzuhängen. Besondere Schwierigkeiten bereitete daher auch die Herstellung einer erschütterungsfreien Einstellung der Interferenzstreifen. Die hierfür notwendigen Einrichtungen und weitere Einzelteile des Apparates wurden nachträglich in der Werkstatt der Abteilung I angefertigt, da zunächst Erfahrungen mit dem provisorisch aufgestellten Apparat gesammelt werden mußten.

Der Meteranschluß wird nach folgender Methode ausgeführt. Zunächst wird ein 200 mm langes Endmaß absolut in Lichtwellenlängen ausgemessen. Da mit den Interferenzeinrichtungen der gegeneinander gerichteten beiden Interferenzkomparatoren gleichzeitig je 200 mm Längenunter-

schied absolut ausgemessen werden können, so läßt sich ein 990 mm Endmaß durch Einschaltung eines 600 mm Hilfsendmaßes unter Benutzung der oben beschriebenen Verschiebungsmöglichkeit der Referenzflächen in zwei aufeinanderfolgenden Meßoperationen mit dem 200 mm langen Endmaß absolut vergleichen. Eine etwa vorhandene Unparallelität der Meßflächen des 600 mm Endmaßes, dessen wirkliche Länge prinzipiell überhaupt nicht bekannt zu sein braucht, wird durch Drehen dieses Endmaßes um 180° und Wiederholung der Doppelmessung in dieser Lage streng eliminiert. Zum Anschluß des in Lichtwellenlängen ausgemessenen 990 mm Endmaßes an das Strichmaß-Prototyp wird dieses durch beiderseits angesprengte und mit zweckmäßigen Strichen versehene Hilfsendmaße in ein 1 m langes Strichmaß verwandelt. Diese Anschlußmessung erfolgt mit dem großen Strichmaßkomparator der Abteilung I. Der Abstand der Striche von den Meßflächen der Hilfsendmaße wird ebenfalls interferometrisch bestimmt.

Die für den Meteranschluß bestimmten langen Endmaße wurden von den Hommelwerken, Mannheim-Käfertal, geliefert. Mit der Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten dieser Maße ist begonnen worden.

g) Anschubkorrektion und Untersuchung an Endmaßflächen.

Die Zerlegung der gesamten Anschubkorrektion (siehe vorjährigen Tätigkeitsbericht) in die drei Komponenten (Phasensprung, Rauhigkeit und Kompression) hat sich bei allen Endmaßmessungen bewährt. Um eventuelle Schwankungen des optischen Phasensprunges auf der Meßfläche des Endmaßes festzustellen, wurden Beobachtungen mit einem Polarisationsmikroskop angestellt. Auch mit dieser Untersuchungsmethode wurden keine derartigen Schwankungen beobachtet. Des weiteren wurden auf Veranlassung eines Endmaßfabrikanten Untersuchungen über das verschiedene Verhalten von anscheinend gleichmäßig polierten Endmaßflächen in bezug auf das Ansprengen ausgeführt. Hierbei machte sich der Mangel an geeigneten Hilfsmitteln bemerkbar.

Durch vergleichende Kontakt- und Interferenzmessungen wurde festgestellt, daß bei den gleichmäßig polierten Johansson-Endmaßen der Kugelkontakt des Optimeters um 0,05 μ tiefer in die definitionsmäßige Endmaßfläche als bei den hochglanzpolierten Werner-Endmaßen eindringt. Für diese Messungen mußte die Ablesegenauigkeit des Optimeters durch ein Schätzmikroskop erhöht werden. Durch die erhöhte Ablesegenauigkeit lassen sich unter Berücksichtigung dieser Eindringungskorrektion auch durch optimetrische Vergleichsmessungen Endmaße mit großer Genauigkeit messen. Die überlegene Meßsicherheit bei optisch polierten Endmaßflächen konnte auch bei diesen Kontaktmessungen bestätigt werden. Allerdings läßt sich die absolute Sicherheit der Interferenzmessung trotz Verfeinerung der Ablesegenauigkeit des Optimeters nicht erreichen.

h) Elektrische Temperaturmessung.

Da sich die Temperaturmessung der Endmaße mittels Thermoelement und Schleifengalvanometer relativ zu einem Quecksilberthermometer bei den Interferenzmessungen bewährt und als unbedingt notwendig zur Erreichung der geforderten Meßgenauigkeit erwiesen hat, so wurde diese Anordnung mit Erfolg auch für die Kontaktmessung von Endmaßen und für die anläßlich des Meteranschlusses erforderlichen Strichmaßvergleichungen übernommen. Die Übereinstimmung der Meßresultate der Einzelmessungen wurde durch diese elektrische Temperaturkontrolle wesentlich gefördert. Die zur allgemeinen Einführung gelangte Normaltemperatur von 20° C und die gesteigerten Anforderungen der Industrie an die Meßgenauigkeit bedingen die Anwendung eines Platinthermometers nebst Kompensationsapparates zur genauen Ermittelung der Meßtemperatur bei allen Längenmessungen. Trotz des dringenden Bedürfnisses war die Anschaffung eines Kompensationsapparates mangels an Geldmitteln bisher nicht möglich.

i) Normung der Endmaße.

Die bei den langjährigen Endmaßmessungen gewonnenen Resultate und Erfahrungen konnten im Arbeitsausschuß für Meßwesen bei der Abfassung des Normenblattes über Parallelendmaße verwertet werden. In das Normblatt über Parallelendmaße (DIN 861) wurde die von der Abteilung vorgeschlagene Definition der Endmaßlänge aufgenommen.

k) Prüfungsgebühren.

Durch die Einführung der verschiedenen Arten der Endmaßprüfungen wurde die Neubearbeitung der Gebührenordnung notwendig. Bei einfachen und dem normalen Bedürfnis der Industrie entsprechenden Anforderungen an die Meßgenauigkeit werden Kontaktvergleichungen mit interferometrisch bestimmten und dauernd kontrollierten Normalendmaßen ausgeführt. Falls auch die Bestimmung der Gestaltsfehler gefordert wird, so tritt an Stelle der Kontaktmessung die einfache Interferenzmessung, bei kurzen Endmaßen meistens mit Heliumlinien. Die Ausführung der neu ein-

geführten Interferenzmessung mit Kryptonlinien und höchst erreichbarer Genauigkeit soll nur besonderen Bedürfnissen, vor allem denen der deutschen Endmaßerzeuger, nach möglichst genau bestimmten Urmaßen dienen und auf diese beschränkt bleiben, da der Zeitaufwand für diese Messungen außergewöhnlich groß ist.

l) Prüfungen von Endmaßen.

Die Zahl der in diesem Jahre zur Prüfung eingereichten Endmaße (275 Parallelendmaße, 16 zylindrische Endmaße und 10 Kugelendmaße) ist im Verhältnis zum Vorjahre wieder größer geworden. Insbesondere wurden mehrere längere Endmaße bis zu 200 mm Länge mit interferometrisch höchst erreichbarer Genauigkeit geprüft. Die deutsche Industrie ist dadurch erstmalig in den Besitz auch längerer Maße gekommen, die nicht mehr auf der ungenaueren Strichmaßvergleichung beruhen. Infolge dieser zeitraubenden Prüfungen mußten andere grundlegende und notwendige Untersuchungen zeitlich eingeschränkt werden. Die vorgesehenen Massenprüfungen von Endmaßen konnten bisher nicht in Erscheinung treten, da die hierfür besonders ausgearbeiteten Bedingungen über die Prüfungsart und Prüfungsgebühren sowie die Anforderungen den Industriekreisen noch zur Begutachtung vorliegen und daher noch nicht abgeschlossen sind.

Die Lieferung von Endmaßen nach DIN 861 führt sich ein. Die Vorarbeiten für eine Beglaubigungsordnung, die sich auch auf Endmaße bezieht, sind begonnen worden.

Gelegentlich der Anwesenheit der Herren Meggers und Peters vom *Bureau of Standards* in Washington wurden zwei 1 zöllige Johansson-Endmaße, die bereits in Washington geprüft waren, mittels des neuen Absolut-Inkos mit Kryptonlinien ausgemessen. Die Übereinstimmung der amerikanischen und der deutschen Messungen liegt innerhalb der bei Johansson-Endmaßen erreichbaren Meßgenauigkeit. Derartige Vergleichsmessungen sollen zwecks Kontrollierung der Grundlagen der absoluten Interferenzmessung mit längeren Maßen fortgesetzt werden.

Für die Unterabteilung IIb (Ziff. 113) wurde der Durchmesser einer Kondensatorplatte, die für die Messung der Lichtgeschwindigkeit bestimmt ist, mit dem Horizontaloptimeter in einer längeren Meßreihe ermittelt. Der die Kondensatorplatte begrenzende Zylindermantel wurde bis zur äußersten Kante als geradlinig und parallel befunden. Weitere Untersuchungen über die absolute Rechtwinkligkeit und Schärfe der Plattenkante sind beabsichtigt.

Weiterhin wurden zahlreiche Kontroll- und Versuchsmessungen von Endmaßnormalen der Abteilung ausgeführt.

m) Prüfung von Interferenzkomparatoren.

Im Berichtsjahre wurde erstmalig der Antrag auf Prüfung von zwei Absolut-Interferenzkomparatoren gestellt. Bei diesen Prüfungen konnte ein neu ausgearbeitetes Verfahren für die sehr schwierige, gegenseitige Justierung der in den Apparaten befindlichen keilförmigen Trennungs- und Kompensationsplatte der Interferenzeinrichtung angewandt werden. Durch diese Prüfungen wurden wertvolle Erfahrungen für die Neukonstruktionen der Absolut-Inkos gewonnen.

n) Apparatur für Kathodenbestäubung.

Die wiederholt notwendigen Kathodenversilberungen, u. a. für die Interferenzmessungen, machen die Ausarbeitung eines sicheren Verfahrens erforderlich. Das hierfür benötigte Argon wurde von der Linde-Akt.-Ges., Höllriegelskreuth, in größerer Menge freundlichst zur Verfügung gestellt.

Laboratorium 1c [1]).

62. Handelswaagen.

Die Neubearbeitung der die Bestimmungen für die Handelswaagen umfassenden Abschnitte der Instruktion VI hat auch eine Überarbeitung der entsprechenden Vorschriften der Eichordnung und eine Neufestsetzung der Fehlergrenzen erfordert. Die neue Fassung ist durch die Verordnung vom 21. Dezember 1927 (Reichsgesetzbl. I S. 495) veröffentlicht worden. Der zweite Teil der Instruktion (Handelswaagen) steht vor der Veröffentlichung. Er bringt die Bestimmungen über die eichamtliche Behandlung der ungleicharmigen Waagen, Laufgewichtswaagen, Schaltgewichtswaagen, Doppelwaagen und Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung, zum Teil nach neu ausgearbeiteten Verfahren im besonderen für die Gleiswaagen, Kranwaagen und Neigungswaagen. Ferner wurde das Verfahren für die Untersuchung von Gleiswaagen ohne Gleisunterbrechung auf Durchbiegung von Brücke und Hebeln weiter ausgestaltet.

---

[1]) Schönherr, Kornatz, Blum, Padelt.

Auf dem Gebiete der Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung wurden 17 Bauarten endgültig zur Eichung zugelassen und die bildlichen Darstellungen und die zugehörige Beschreibung und Erläuterung entsprechend ergänzt. Weitere 35 Bauarten wurden probeweise zur Eichung zugelassen.

Besondere Untersuchungen erstreckten sich auf die Eignung nichtrostenden Stahls (Widia-Stahl) für Waagenschneiden, auf die zulässige Beanspruchung von Schneiden und Pfannen und die Abhängigkeit von der Art der Härtung. Die Versuche wurden mit den auf der Werkstoffschau aufgestellten Einrichtungen und Prüfmaschinen ausgeführt, da dem Laboratorium die in Frage kommende Apparatur nicht zur Verfügung steht. Die Versuche sollen gelegentlich fortgesetzt werden.

63. Waagen für besondere Zwecke.

Die Systemprüfungen von Waagen zur selbsttätigen Abwägung des Füllgutes und anderen selbsttätigen Waagen wurden fortgeführt, wichtige Untersuchungen von grundsätzlicher Bedeutung über die Zulassung besonderer Zuflußregler mußten vorläufig zurückgestellt werden. Eine Darlegung über das Prüfungsverfahren bei der Eichung der Bruttoabsackwaagen und der übrigen Waagen mit Nachstromregler ist in den Mitteilungen veröffentlicht, ein entsprechender Vordruck ist herausgegeben worden. Die Anwendung eichfähiger selbsttätiger Waagen, im besonderen für die Bedürfnisse der Wärmewirtschaft, wurde durch Zulassung neuer Größen ermöglicht. Für die Zwecke der Abwägung sogenannter Markenartikel und anderer Packungen wurden als neue Gattung eichfähiger Waagen „Waagen zum Herstellen gleicher Packungen" zugelassen und die Eichordnung entsprechend erweitert.

Laboratorium 1d [1].

64. Laufende Prüfungen [1]).

Für die Reichsanstalt:

1 Waage auf Brauchbarkeit zur Bestimmung analyt. Gewichte (Lab. 1d),
2 Normal-Gewichtssätze (B. 8 und St. I) (Lab. 1d).
1 Bruchgramm-Satz (Nr. 6) (Lab. 1d),
1 analyt. Gewichtssatz (Lab. 1e),
1 Bruchgramm-Satz (Abt. IIIb),
1 Gewicht zu 100 g und } (Observatorium).
1 Gewicht zu 1 kg }

Für Behörden:

4 Hauptnormal-Gewichtssätze nebst zugehörigen
8 Hilfssätzen und
1 Kontrollnormal-Gewichtssatz für Eichungs-Aufsichtsbehörden,
1 sächsisches Urnormal-1-kg-Gewicht,
1 Viertelliter-Normalgetreideprober für ein Haupteichamt,
3 Viertelliter-Normalgetreideprober für das Ausland } (Österreich, Ungarn,
3 Liter-Normalgetreideprober für das Ausland } Tschecho-Slowakei),
12 Garnwaagen für Zollämter,
18 Garngewichtssätze.

Für Private:

62 analyt. Gewichtssätze,
17 analyt. Einzelgewichte,
1 Zucker-Normalgewichtssatz,
2 Trägheitszylinder,
1 Viertelliter-Getreideprober (Fabriknormal),
6 Zwanzigliter-Getreideprober (Auswärts).

Laboratorium 1e.

65. Volumenbestimmung von Menisken [2])

Für die Ermittlung des Stickstoffes in der organischen Elementaranalyse werden die von Prof. F. Pregl, Graz, angegebenen Mikroazotometer (siehe Pregl, Quantitative organische Mikroanalyse, 2. Aufl., Berlin 1923, S. 86—102) in großem Umfang [3]) benutzt. Sie gehören zu den eich-

[1]) Schultze, Roerdansz, Lenk. [2]) Bein.
[3]) Vgl. H. Dieterle, *Zeitschr. d. Ver. d. Ingenieure* **71.** *S. 1683. 1927.*

fähigen Geräten für Gasbestimmungen. Sie sind mit einem Trichter abgeschlossene Röhren von 3,5 mm Durchmesser, in denen 1 ccm einen Zylinder von etwa 100 mm Länge einnimmt. Der Nullpunkt der Teilung liegt am Hahn. Die Anforderungen an die Gleichmäßigkeit der Teilung und an die Übereinstimmung zwischen Ist- und Sollwert der Angaben sind außerordentlich hohe. Das Volumen des Stickstoffes soll auf mindestens 2 cmm genau bekannt sein. Als Sperrflüssigkeit im Gebrauch dient 50%ige Kalilauge (Pregl, l. c. S. 104). Bei der Eichung werden die Röhren in umgekehrter Lage (Hahn unten) mit Quecksilber kalibriert. Für den Unterschied in der Größe des Meniskus beider Flüssigkeiten ist eine kleine Korrektion anzubringen. Aus den Beobachtungen von W. Schlösser und C. Grimm (*Zeitschr. f. chem. Apparatenkunde* **2.** *S. 201, 225. 1907*) und von L. W. Winkler (*Zeitschr. f. angew. Chemie* **16.** *S. 718. 1903*) ist diese Korrektion nicht genau genug abzuleiten.

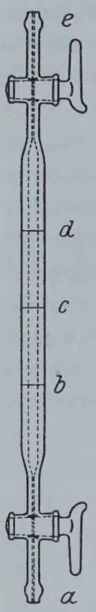


Abb. 1.

Das Volumen V und die Höhe h der Menisken M wurde in 5 Röhren verschiedenen Durchmessers D (Abb. 1; der Abstand von 2 Strichen beträgt 2 cm) für einige Flüssigkeiten, die zur Kalibrierung benutzt werden können (Wasser, bei dem auf gute Benetzung besonders zu achten ist, Xylol, 40% Kalilauge, 96% Alkohol und Quecksilber) bestimmt. h wurde mit einem Kathetometer bei 40facher Vergrößerung beobachtet. Die Grenze des Meniskus war lediglich bei Beleuchtung von vorn, wie bei den Wulsthöhen am äußeren Rande von Glaszylindern (*Zeitschr. f. Instrkde.* **47.** *S. 232. 1927*), sicher durch Lichtpunkte zu erkennen.

Das Gewicht G der von a bis e gefüllten Röhren wurde mehrfach sowohl in der gezeichneten Lage wie in umgekehrter Stellung ermittelt; ferner das Gewicht der 6 möglichen Teilfüllungen (*a—b; a—c; a—d;* nach Umkehrung *e—d; e—c; e—b*). Diese 6 Füllungen sind paarweise zusammenzufassen und mit G zu vergleichen. Aus dem Unterschied ist die Größe des doppelten Meniskus ($2v$) leicht abzuleiten. Für Hg ergibt sich so der „Korrektionswert" C, d. h. das Volumen zwischen Oberfläche von M, Glaswand und einer Ebene, die durch die Kuppe von M gelegt ist.

Zur Erläuterung der erreichten Genauigkeit sei das Ergebnis für die Füllung der Röhre V ($D = 4,9$ mm) mit Wasser mitgeteilt.

a—b	1,1571	*a—c*	0,7829	*a—d*	0,4055	Summe (Mittel)	1,5947
e—b	0,4374	*e—c*	0,8127	*e—d*	0,1886	G	1,5676
Summe	1,5945 g		1,5956 g		0,5941 g	$2v$	0,0271 g (= cmm)

Ergebnisse (Angaben für $D = 2r$; h; ϱ in mm; für C und v in mm³).

Röhre	$D = 2r$	a) Quecksilber				b) Wasser					
		h	C	v_{beob}	v_{ber} [1]	h	v_{beob}	v_{ber} [2]	v_{ber} [3]	ϱ_2	ϱ_3
I	1,107	0,26	0,08	0,17	0,15	$0,54_5$	0,27	0,18	0,18	0,558	0,554
II	2,106	0,55	0,85	1,06	0,99	1,02	1,05	1,13	1,22	1,08	1,05
III	2,893	0,68	2,01	2,46	2,38	1,33	2,9	2,95	3,27	1,51	1,45
IV	3,755	0,77	4,04	4,49	4,52	1,67	6,0	5,7	6,8	2,02	1,89
V	4,896	0,81	6,97	8,18	7,95	2,05	13,4	10,9	14,8	2,78	2,49

[1]) J. C. Schalkwijk, *Commun. Phys. Laborat. Leiden Nr. 67, 1901. S. 28.* Die Menisken können auch als Kugelkalotten berechnet werden, ohne merkliche Abweichung. Sch. gibt Werte für die Größen $v/\pi r^2$ als Funktion von r und von h/r.

[2]) [3]) siehe Fußnote [1]) und [2]) nächste Seite.

(Fortsetzung.)

Röhre	c) Xylol						d) 96% Alkohol	e) 40% Kalilauge
	h	v_{beob}	v_{ber} [1]	v_{ber} [2]	ϱ_2	ϱ_3	h	h
I	$0{,}53_5$	0,32	0,17	0,18	0,562	0,555	0,52	0,53
II	$0{,}97_6$	1,1	1,13	1,28	1,11	1,06	0,96	$1{,}00_5$
III	1,30	3,3	2,4	3,1	1,59	1,46	1,29	$1{,}28_5$
IV	1,56	6,0	4,5	6,6	2,19	1,91	1,53	$1{,}70_5$
V	1,85	11,5	7,4	11,1	3,17	2,55	1,78	$2{,}05_5$

Aus C ergibt sich v, wenn man von dem Zylinder $Z = \pi r^2 h$ C abzieht.

Die nach Sugden berechneten v weichen für IV und V bereits merklich von den Beobachtungen ab. Die Ursache liegt darin, daß bereits in diesem Gebiet Sugden nur noch empirische und keine theoretisch strengen Grundlagen hatte. Für Röhren mit mittlerem D ist der Zusammenhang zwischen Steighöhe, ϱ und D immer noch nicht genau genug beobachtet. Am einfachsten und besten lassen sich die Beobachtungen durch die Annahme darstellen, daß die M Teile von Kugelflächen sind. Für Hg ist diese Annahme vollkommen erfüllt.

Die Höhe h und damit die Volumen v sind (von Hg abgesehen) für alle Flüssigkeiten wenig voneinander verschieden. Für Wasser und Kalilauge sind sie entsprechend der gleichen Oberflächenspannung völlig gleich.

Die für die Eichung von Meßröhren erforderliche Korrektion ergibt sich zu 0,2 (I); 0,2 (II); 0,9 (III); 2,0 (IV) und 5,4 (V) cmm; also für $D = 3$ mm zu 1,0 cmm (gegen 3 cmm nach Schlösser, l. c. S. 227). Die obigen Beobachtungen, die für Hg auf einer glatten Kurve liegen, weichen von den Schlösserschen Angaben merklich ab. Daß diese Angaben für enge Röhren nicht zutreffen, ergibt sich schon aus einigen physikalisch unmöglichen Zahlen (Schlösser, l. c. S. 206 z. B. für $D = 1$ mm und Hg, $h = 0{,}76$ mm). Für die größten Durchmesser, bei denen die Steighöhe H berechenbar ist, ergibt aber eine Kontrollrechnung, daß die Beobachtungswerte mindestens 90% des höchst möglichen Wertes (bei vollkommenster Benetzung) für Wasser geben. Bei diesen Rechnungen ist noch zu berücksichtigen, daß ein Randwinkel ϑ vorhanden ist. Berechnet man ihn nach der Beziehung $r = \varrho_3 \cos\vartheta$, so gelangt man zu Werten von etwa 10°. Diese Größe hat den gleichen Wert wie bei den Beobachtungen der Wulsthöhe an Glaszylindern (*Zeitschr. f. Instrkde.* **47.** *S. 232. 1927*). Der Randwinkel ist bei starker Vergrößerung deutlich zu erkennen.

66. Die aräometrischen Gebrauchsnormale für Mineralöle der Eichbehörden[4]).

Die Normale der Eichbehörden sind größtenteils in den Jahren 1890/92 zum ersten Male geprüft worden. Damals wurde für die Angaben der Fehlertafeln eine Genauigkeit von 0,0001 der Dichte für ausreichend erachtet. Die Instruktion VII von 1908 hält Angaben auf 0,00001 der Dichte für erforderlich. Die 1906 bis 1908 vorgenommene Erweiterung der Fehlerangaben um eine

---

[1]) S. Sugden (*Journ. Chem. Soc. London* **119.** *S. 1483. 1921*), vgl. Lord Rayleigh, *Proc. Roy. Soc. (A)* **92.** *S. 184. 1915.* Die Tabelle S. 1491 gibt die Werte von r/ϱ_2 als Funktion von r/a. ϱ_2: Krümmungsradius von M. $a = \sqrt{2\alpha}$; α Oberflächenspannung in mg/mm. $v_{ber} = Z - C_2$, $C_2 = {}^1/_3\, \pi h^2 (3\varrho_2 - h)$ — Kugelkalotte.

[2]) Berechnet als Kugelkalotte aus r und h. Der Krümmungsradius $\varrho_3 = \frac{r}{2}\left(\frac{r}{h} + \frac{h}{r}\right)$, $C_3 = {}^1/_3\, \pi h^2 (3\varrho_3 - h)$. $v_{ber} = Z - C_3$.

[3]) Sugden, Formel 3). H ist selbst für einen Durchmesser von 4 cm nicht zu vernachlässigen, da H 0,011 mm beträgt. Das hochgesaugte Volumen berechnet sich zu 14 cmm. Es ist abzuziehen von dem an dem Rande von M (Länge $= \pi r$) hängenden Vol. $\pi r a^2$. Die vielfach angewandte Formel (Sugden, Formel 1)) $a^2 = r h \left(1 + \frac{1}{3}\frac{r}{h} - 0{,}1288 \frac{r^2}{h^2} + \ldots\right)$ ist schon für Röhren mit $r > 1$ mm unbrauchbar. Sie ergibt $v = \pi \frac{r^3}{3}\left(1 - 0{,}39 \frac{r}{h} + 0{,}39 \frac{r^2}{h^2}\right)$. Eine andere Formel hat D. Pekár, *Zeitsch. phys. Chem.* **39.** *S. 441. 1902* gegeben.

[4]) Bein, Hartmann, Hoffmann.

Dezimalstelle war aber rein rechnerisch. In der Absicht, der Anforderung der Instruktion VII wirklich zu genügen, sind die Fehler aller Gebrauchsnormale für Mineralöle durch Fundamentalversuche, bei denen die Dichte hydrostatisch auf 0,000 01 bestimmbar ist, an einigen Skalenpunkten von neuem ermittelt worden. Zunächst wurden drei Sätze der Eichbehörden und unsere eigenen Normale untersucht. Die Nachprüfung der übrigen Sätze ist in Aussicht genommen.

Die Prüfung ist in drei Zeitabschnitten vorgenommen. Sie ergab,

a) daß die Ablesegenauigkeit nur 0,000 05 ist,

b) daß die Einstellungssicherheit der Normale in Mineralölen (sowie in Benzol, Tetralin und ähnlichen Flüssigkeiten) viel geringer als die Ablesegenauigkeit ist.

Die Instrumente können sich bis zu 0,0002 falsch einstellen, und zwar in dem Sinne, daß sie nicht tief genug eintauchen. Der die Spindel umgebende Wulst hat in diesem Falle ein zu kleines Gewicht. Das liegt daran, daß Öle, ebenso wie viele organische Flüssigkeiten, entgegen der bisherigen Vorstellung Glas nicht so gleichmäßig benetzen wie Alkohol, Sulfosprit und Glyzerinspiritus. Die Ungleichmäßigkeit der Benetzung wird durch die Veränderlichkeit des Randwinkels charakterisiert. Wie aus Beobachtungen über die Wulsthöhe (vgl. Tätigkeitsbericht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt 1926, ferner *Zeitschr. f. Instrkde.* ***47.*** *S. 133. 1927*) sich ergab, haben Öle im allgemeinen einen Randwinkel von 10°, aber der Randwinkel kann (nach Beobachtung von Dallwitz-Wegner) auf 30° steigen, und dem entspricht die um 0,0002 falsche Einstellung. Eine falsche Einstellung ist bei rauhen Glasflächen zu erwarten. Die Stengel der Aräometer, die im Gegensatz zum Körper aus Thüringer Glas bestehen, sind im Laufe der Jahre zweifellos ein wenig verwittert und dadurch rauh geworden. An diesen rauhen Stellen haftet leicht eine auf der Oberfläche des Öles schwimmende Haut. Die Haut, die der Ölsäurehaut auf Wasser und der Fetthaut auf Milch entspricht, hindert die normale Ausbildung des Wulstes.

Die mit der Zeit fortschreitende Verwitterung der Aräometerstengel und die zunehmende Verblassung der Skale läßt erwarten, daß die Instrumente in absehbarer Zeit nicht mehr den an sie zu stellenden Anforderungen genügen werden. Sie werden alsdann durch neue Normale zu ersetzen sein.

67. Die Wulsthöhe an Aräometer[1]. Die Beobachtungen sind abgeschlossen. Im Tätigkeitsbericht der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt für 1926 (*Zeitschr. f. Instrkde.* ***47.*** *S. 233. 1927*) sowie in den Mitteilungen 11. Reihe, S. 11, 1927 ist darüber berichtet worden.

68. Prüfungen[2]. Unter den im Berichtsjahr 1927 geprüften Aräometern befindet sich eine größere Anzahl Spindeln für hochprozentigen Spiritus nach „Graden Alkohol“, wo 1° Alkohol gleich 0,0002 der Dichte ist, für das Reichsmonopolamt. Ferner sind die Fehler mehrerer Normalinstrumente für das Ungarische Zentralinstitut für Maß und Gewicht bestimmt worden. Für die Aräometer nach Graden Alkohol wurden besondere Umrechnungstafeln hergestellt.

Die Prüfungen chemischer Meßgeräte für die deutsche Tiefsee-Expedition haben das Laboratorium 1e bis zum Frühjahr 1927 stark in Anspruch genommen. Eine große Reihe Anträge auf Prüfung von Aräometern und chemischen Meßgeräten mußte aus Mangel an Personal abgelehnt werden.

Im einzelnen wurden geprüft:

3 Sätze Normalaräometer für die Abt. I und für auswärtige Eichbehörden,
50 Aräometer für verschiedene Zwecke,
14 Büretten für das Institut für Meereskunde,
51 Blutmischpipetten, Pyknometer, Mikroazotometer und medizinische Spritzen.

69. Änderungen der Eichvorschriften[2]. Hinsichtlich mehrerer Geräte, z. B. Alkoholometer, Milcharäometer und Gasmeßgeräte, mußten die Vorschriften der Abschnitte VII und X der Eichordnung grundlegend geändert werden. Ferner wurden die Baumé-Aräometer von der Eichung ausgenommen; die Anbringung thermometrischer Reduktionsskalen bei Aräometern, wofür bisher lediglich die Aufschrift „nicht geeicht“ vorgeschrieben war, wurde der Zulassung durch die Abteilung unterworfen. Für Meßwerkzeuge für wissenschaftliche und technische Untersuchungen wurde die Normaltemperatur 20° eingeführt.

---

[1]) Bein. [2]) Hartmann, Hoffmann.

Der Abschnitt XI der Eichordnung (Medizinische Spritzen) ist neu bearbeitet worden. Insbesondere sind die Fehlergrenzen, die in der bisherigen Fassung viel zu eng waren, bedeutend erweitert worden.

70. Volumenalkoholometer[1]. Die Frage der Zulassung des Volumenalkoholometers (vgl. Geschäftsbericht 1926) ist weiter erwogen worden, und zwar im Zusammenhang mit dem Plan, eine internationale Vereinbarung über die Alkohol-Prozentskale herbeizuführen, die natürlich dem Gewichts- und Volumenalkoholometer gemeinsam sein müßte. Es erscheint wünschenswert, im Interesse der Vereinheitlichung die Skale des Bureau of Standards anzunehmen.

71. Normung chemischer Meßgeräte[1]. In der Normung der chemischen Meßgeräte ging die Abteilung Hand in Hand mit der Dechema, der Deutschen Gesellschaft für chemisches Apparatewesen. Die große Menge der ungeeichten Geräte soll außerordentlich fehlerhaft sein. Zum Zweck der Erzielung einer besseren Durchschnittsqualität, die auf Innehaltung der Eichfehlergrenzen noch keinen Wert legt, gaben wir die Anregung, man sollte ein geschütztes Warenzeichen schaffen, das an die Hersteller verliehen werden könne gegen die Verpflichtung, die Normungsvorschriften innezuhalten und sich einer Kontrolle zu unterwerfen. Die Dechema hat sich bereits das Zeichen „Denog“ schützen lassen und ist bereit, die Kontrolle auszuüben.

Laboratorium 1f.

72. Zulassung von Gasmessern zur Eichung (Systemprüfung)[2]. Es wurden zugelassen 27 Sonderkonstruktionen von Gasmessern, sowie in 23 Fällen neue Typen von Gasmessern, namentlich von solchen mit heraufgesetzter Leistungsfähigkeit.

Außerdem wurde ein zur Prüfung von Wohnungsgasmessern an der Gebrauchsstelle bestimmter Gasmesser auf seine Beglaubigungsfähigkeit untersucht und begutachtet.

73. Eichvorschriften betreffend Gasmesser[3]. Weitere Arbeiten betrafen Entscheidungen auf Grund der geltenden Vorschriften, sowie Änderungen und Ergänzungen der Vorschriften. Darunter seien genannt: Neustaffelung der Gasmesser-Eichgebühren, und zwar nach dem *J* statt nach dem *V* der Messer (Eichgebührenordnung, VIII); Änderung der Vorschriften über die zulässige Einrichtung des Flüssigkeitsstandsanzeigers an nassen Gasmessern (Eichordnung, § 126; Mitteilungen 1927, Nr. 6); Erlassung einer vorläufigen Instruktion für die Prüfung nasser Großgasmesser als Anhang zur Instruktion VIII (Mitteilungen 1927, Nr. 1); ferner Regelung einiger Nebenfragen der Einrichtung, Bezeichnung und Prüfung von „Hochleistungsgasmessern“ (Mitteilungen 1927, Nr. 3); Ergänzung der Bestimmungen über die Literzählvorrichtung von Gasmessern (Instruktion VIII, Nr. 2b); Festsetzung der zulässigen Angaben für *J* und *V* bei trockenen Zweiflammern (Instruktion VIII, Nr. 2c; Mitteilungen 1927, Nr. 1); Regelung der Bezeichnung der Automatenwerke von Gasautomaten (Mitteilungen 1927, Nr. 3); Vorbereitung der Einbeziehung der für die „Hochleistungsgasmesser“ getroffenen Sonderbestimmungen in die Vorschriften der Eichordnung und der Instruktion VIII; Herausgabe von Formblättern für die Prüfung nasser Großgasmesser (Mitteilungen 1927, Nr. 3).

74. Richtigkeitsprüfungen[2]. Es wurde geprüft und beglaubigt eine Kolbenwippe.

75. Vorschriften betr. Flüssigkeitsmeßgeräte[4]. Auf dem Gebiete der Flüssigkeitsmeßgeräte wurde der Ausbau der Vorschriften fortgesetzt. Insbesondere wurden die Bestimmungen der Eichordnung über die Meßeimer für Mineralöle (§§ 38 Nr. 5, 43a Nr. 2 und 45 Nr. 4) geändert. Weitere zum Teil kleinere Änderungen oder Ergänzungen erfuhren die §§ 33 Nr. 3, 34 Nr. 3, 38 Nr. 4, 41 Nr. 6, 43 Nr. 3, 4 und 5, 44 Nr. 1, 2 und 6, 45 Nr. 4 und 5 und 46 Nr. 2. Auch wurde eine vorläufige Neuregelung der Eichgebühren für die Meßeimer für Mineralöle sowie für sämtliche Meßwerkzeuge für Betriebsstoff-Zapfanlagen durchgeführt.

76. Systemprüfungen und Probezulassungen[5]. Im übrigen standen die System- und Konstruktionsprüfungen neu zuzulassender Meßgeräte für Mineralöle und die Bearbeitung der für die Probezulassung solcher Meßgeräte erforderlichen besonderen Vorschriften immer noch an erster Stelle. Eine besondere Rolle spielten hierbei die Maßnahmen zur Verhütung der Mitvermessung von Gasbeimengungen (vgl. Mitteilungen, 11. Reihe, S. 36/38).

---

[1]) Hartmann, Hoffmann.
[2]) Weymann, Mentzel. [3]) Weymann.
[4]) Thomas, Zipler. [5]) Thomas, Zipler, Burmester.

77. Besondere Untersuchungen[1]. Die im Arbeitsplan vorgesehenen Untersuchungen über die Brauchbarkeit verschiedener Hilfsmittel zur Bestimmung der Einstellhöhen von Flüssigkeiten konnten bisher nur in beschränktem Umfange durchgeführt werden. Aus besonderem Anlaß wurden Untersuchungen über den Einfluß von Verdunstungsverlusten auf die Ergebnisse von Meßgerät-Prüfungen mit Benzin und Benzol ausgeführt sowie über die Möglichkeit einer Herabsetzung solcher Verluste durch geeignete Gestaltung der Einfülltrichter.

78. Richtigkeitsprüfungen[2]. Die laufenden Prüfungen erstreckten sich auf:

14 Wassermesser,
1 Dampfmesser und
25 Scheibenmesser für Gasöl.

79. Fässer[3]. Die Frage des Verhaltens von Aluminium als Material für Bierfässer wird auf Grund von Zulassungsanträgen geprüft.

80. Flaschen[3]. Die Flaschennormungsarbeiten haben zur Normung der Milchflasche zu 1 und 0,5 und 0,25 Liter geführt. Die Frage der Eichung dieser Flaschen wurde in zahlreichen Verhandlungen mit den beteiligten Wirtschaftskreisen behandelt. (Fortsetzung folgt.)

Zur Entstehung des Jenaer Glaswerks.

Von
Moritz von Rohr in Jena.

Die nähere Geschichte der Entstehung des Jenaer Glaswerks war bisher nicht bekannt, wenngleich die großen Züge feststanden. Der zeitlichen Reihe nach hatten als wichtigste Quellenschriften zu gelten E. Abbes (*1*), S. Czapskis (*3*), O. Schotts (*9*) und E. Zschimmers (*10*). Sehr wichtige Daten verdankt man ferner dem 1918 von Hrn. F. Auerbach (*2*) herausgegebenen Leben Abbes.

Ein Archiv, aus dem man Einzelheiten über die umfangreichen Verhandlungen mit dem preußischen Kultusministerium um die entsprechende Vorlage der Kgl. Preußischen Regierung vor dem Landtag hätte entnehmen können, bestand in der Jenaer Werkstätte nicht, da weder Carl Zeiss noch Ernst Abbe für die Aufbewahrung der Entwürfe wichtiger Schriftstücke oder der einlaufenden Antworten gesorgt hatte, sobald deren Zweck einmal erreicht war.

Ich habe in der Einleitung[4] zur Veröffentlichung der glücklich aufgefundenen Akten des Kultusministeriums das Nötige im Hinblick auf die Auffindung dieser Schriftstücke und die Art ihrer Wiedergabe gesagt; ich möchte an dieser Stelle die aus so langer Ruhe hervorgezogenen Eingaben und Mitteilungen mit etwas eingehenderen Erklärungen besprechen, auf daß der Leser mit einer besseren Kenntnis der Zeit auch eine zutreffende Kenntnis der Leistungen erhalte, die auf die beiden hauptsächlichsten Bahnbrecher der Schmelzkunst optischen Glases zurückgehen. Die beiden Hilfsmittel, die ich dem ersten Teile des vierten Bandes in der Zeittafel und dem Namensverzeichnis beigegeben habe, werden die Auffindung der einzelnen Belegstellen erleichtern, auch wenn sie hier nicht alle einzeln erwähnt werden.

Hier sei mit der Übersiedlung Hrn. O. Schotts nach Jena — sie fand am 17. Januar 1882 statt — begonnen. Man erfährt (77) Einzelheiten über die Deckung der

---

[1] Thomas, Zipler. [2] Thomas, Zipler, Burmester. [3] Drewitz.

[4] Die Entstehung des Glaswerks von Schott & Gen. nach gleichzeitigen Schriftstücken aus amtlichem und persönlichem Besitz zwischen dem März 1882 und dem Januar 1885. Mit einem Bildnis E. Abbes aus dem Anfang der 80er Jahre. Vierter Band der ges. Abb. von Ernst Abbe. Die Seitenzahlen dieser Veröffentlichung sind ohne Ordnungsziffer einfach in runden Klammern angegeben, während die Quellenschriften vor der Seitenzahl eine kursive Ordnungsziffer führen.

Kosten. Während die Arbeitszeit Schotts ohne Bezahlung den Zukunftaussichten geopfert wurde, trug Abbe zu den Kosten des Unternehmens dadurch bei, daß er ein Privatlaboratorium einrichtete, um es seinem Mitarbeiter zur Verfügung zu stellen.

Wie sich sogleich zeigen lassen wird, waren die wissenschaftlichen Vorbereitungen schon um diese Zeit ziemlich weit gediehen, denn die beiden Partner, die von den äußeren Inhabern der Jenaer Werkstätte Carl und Roderich Zeiss durch Hilfsleistungen der Werkstätte nach Kräften unterstützt wurden, reichten am 30. März 1882 einen „Vorläufigen Bericht" (1—26) an den derzeitigen Vorstand der Berliner Sternwarte W. Foerster ein. Er war der Vorsitzende eines Ausschusses zur Hebung der feinmechanischen und feinoptischen Kunst und war als solcher mit Abbe bekannt geworden.

Im Nachstehenden soll ein kurzer Überblick über diesen „Vorläufigen Bericht" gegeben werden, der zur Weitergabe an Männer ohne besondere Fachkenntnisse bestimmt war.

I. Die Mängel des optischen Glases seien durch die Entwicklung der Schmelzkunst für optisches Glas aus der für allgemeine technische Zwecke arbeitenden Schmelzkunst zu erklären; auch fehle jeder Zusammenhang mit der wissenschaftlich-technischen Optik. Wer die Bedürfnisse der Optik kenne, verstehe nichts vom Glasschmelzen, und wer Glas zu schmelzen vermöge, verstehe nichts von der Optik. Auch bestehe in den Hütten für optisches Glas keine wissenschaftliche Leitung, man verlasse sich auf ein wenig ergiebiges Pröbeln und kenne nicht einmal die optisch wichtigen Zahlen der eigenen Glasarten, wenn man sie nicht zufällig von den Abnehmern mitgeteilt erhalte; demgegenüber müsse man die Errichtung einer Schmelzkunst auf wissenschaftlicher Grundlage fordern mit dem Ziel planmäßiger Zusammensetzung der Glasflüsse; ferner seien wechselseitige Beziehungen zwischen Schmelzer und Rechner anzubahnen.

II. Abbe sei zuerst 1879 mit O. Schott in Berührung gekommen, und man habe im Januar 1881 eine wissenschaftliche Vorarbeit verabredet zur Bearbeitung der folgenden Fragen:

a) welche Stoffe und in welchen Mengen verglast werden könnten,

b) welche Grundanlage (Verbindung von mittlerer Brechzahl, mittlerer Zerstreuung und dem Gang der Teilzerstreuung) jedwedem dieser Schmelzflüsse zukomme,

c) ob ein bestimmt erkennbarer Zusammenhang zwischen der chemischen Zusammensetzung und der Grundanlage eines Schmelzflusses bestände.

Diese Bearbeitung solle zunächst an kleinen Proben durchgeführt werden, die nachträglich chemisch zu analysieren seien.

Schott habe sich diesen Arbeiten 1881 in Witten am Gasschmelzofen unterzogen. 1. Die Untersuchung aller genügend schlierenfreien kleinen Prismen sei von Abbe und Riedel am Abbeschen Spektrometer vorgenommen worden. Im ganzen habe Schott 130 Versuchsschmelzen ausgeführt, anfänglich mit mäßigem Erfolge, die letzten um den März 1882 so gut, daß sich zwischen A' und G' (nach der späteren Bezeichnung) Messungen für 5 verschiedene Wellenlängen haben ausführen lassen. 2. Viele Stoffe ließen sich verglasen; etwa 30 verschiedene chemische Verbindungen wären eingeführt worden, und es lägen bereits 100 verschiedenartige Glasflüsse vor. 3. Durch die Einführung neuer Stoffe hätten sich ganz verschiedene Grundanlagen erzielen lassen, die vermutlich der praktischen Optik von Nutzen sein würden.

Aus diesem Grunde sei der Arbeitsplan geändert worden; man habe sich entschlossen, die theoretische Erkenntnis mehr beiseite zu lassen und sich mehr der Herstellung praktisch verwendbarer Glasflüsse zuzuwenden.

In dieser Richtung habe man schon im Herbst 1881 begonnen und habe im November 1881 beschlossen, ein besonderes glastechnisches Laboratorium in Jena zu gründen. Mitte Januar 1882 habe Schott mit den Arbeiten beginnen können, und zwar seien nun unter günstigen Bedingungen Schmelzen von mehreren Kilo möglich. Die Arbeit werde besonders nach zwei Richtungen gefördert:

1. auf Glaspaare, die bei einem genügenden Unterschiede im Werte von $\Delta n / (n - 1)$ doch den gleichen Gang der Zerstreuung zeigten;

2. auf Glasarten ohne die bis jetzt stets vorhandene Einförmigkeit in der Abstufung zwischen n und Δn.

Dieses letzten Mangels seien sich die dermaligen Optiker anscheinend gar nicht bewußt; er bestehe darin, daß bei der Eintragung der Werte in ein Koordinatensystem für n und Δn die üblichen (Silikat-)Glasarten alle in einem bestimmten Linienzuge lägen, während die Aufgabe 2 eine Verteilung der $(n, \Delta n)$-Punkte über ein Flächenstück fordere. Die Arbeit sei noch im Gange, doch könne man für die beiden Aufgaben etwa das Folgende sagen.

Zu 1. Eine wesentliche Verbesserung sei wahrscheinlich; vermutlich werde sogar dabei eine Abstufungsmöglichkeit derart bleiben, daß man noch $n \lesseqgtr N$ würde wählen können. Die optischen Eigenschaften allgemeiner Art würden sich voraussichtlich befriedigend gestalten lassen, dagegen würde sich ein wirklich proportionaler Gang der Zerstreuung nur für solche Glaspaare ergeben, deren Unterschied in dem Wert von $\Delta n / (n - 1)$ nicht zu groß wäre. Zu 2. Die mittlere Zerstreuung von Kron lasse sich noch erniedrigen; auf schweres Kron bis zu $n = 1{,}65$ könne man hoffen. Ein ähnlicher Spielraum sei auch für leichtes und mittleres Flint zu erwarten. Das eröffne gute Aussichten für die Berechnung von optischen Linsenfolgen wie dem Mikroskop- und dem photographischen Objektiv.

Auch die gefärbten Glasflüsse werde man bearbeiten; im Sommer plane Abbe auch eine Bearbeitung der thermischen Eigenschaften nach Fizeaus Verfahren. — Mit dem Thermometerglas werde man sich ebenfalls beschäftigen.

III. Schon aus der Foersterschen Denkschrift gehe die Möglichkeit einer Staatshilfe hervor; eine solche sei auf der gegenwärtigen Stufe der Untersuchung noch nicht nötig, wohl aber unerläßlich für die praktische Verwertung. Das Geld dafür könne von den beiden Gelehrten aus eigenem nicht aufgebracht werden, und Hoffnungen auf einen guten Geschäftsgang in der Zukunft könne man nicht hegen, da die ganze Sache um so weniger einbringen würde, je mehr verschiedene Glasarten man zu schmelzen suchte. Daher würde auch von deutschen Geldgebern schwerlich Geld zu beschaffen sein. Aber wirtschaftliche Vorteile für das deutsche Erwerbsleben seien zu erwarten und berechtigten zu dem Gesuch um eine Staatshilfe. Der geplanten staatlichen Versuchsstation würden hier die Ergebnisse von 2 Jahren eifriger Arbeit dargebracht. Augenblicklich handele es sich um eine wissenschaftliche Arbeit, wo alles veröffentlicht werden müsse und nichts durch Patente geschützt werden dürfe.

Diese Denkschrift wurde von ihrem ersten Empfänger W. Foerster mehr als ein Vierteljahr lang zurückgehalten und schließlich am 20. Juli 1882 weitergereicht mit lebhafter Empfehlung, das junge glastechnische Unternehmen zu unterstützen. Er faßte die Jenaer Bestrebungen als vielversprechende Ansätze namentlich für die Hebung des sekundären Spektrums auf, scheint aber auf die eigentlich Abbesche Aufgabe, den sonst festgegebenen Zusammenhang zwischen n und Δn zu durchbrechen, keinen besonderen Wert gelegt zu haben; ihm schien die zweite Aufgabe einer wissenschaftlic

geleiteten Glashütte in der Verbesserung des Thermometerglases zu liegen. Offenbar hatte er den Wunsch, die Glashütte in Preußen als einen Teil des geplanten Instituts für Präzissionsmechanik entstehen zu lassen. Wenn er indessen glaubte (30/1), zu diesem Plan leicht die Mitwirkung von Abbe und Schott erhalten zu können, so würde er vermutlich doch sehr merklichen Schwierigkeiten begegnet sein.

Ehe man mit der Geschichte der Jenaer Glashütte fortfährt, muß ein flüchtiger Blick auf die Bestrebungen geworfen werden, die schon seit längerer Zeit von sehr maßgebenden Stellen des damaligen Preußens gepflegt wurden. Ich stütze mich dabei in erster Linie auf den schönen Nachruf, den R. Fueß (*4*) auf L. Loewenherz bald nach dessen Hinscheiden gesprochen hat. Danach war man bald nach der Reichsgründung über den wenig befriedigenden Stand der deutschen Feinmechanik erschrocken, und es steht (*4.* 182 δ) fest, „daß im Jahre 1872 Männer der Wissenschaft mit Vertretern des Generalstabes und der Marine in Beratungen eintraten, wie dem bedrohlichen Zustande der Feintechnik zu begegnen sein möchte".

Man plante schon früh die Gründung eines präzisionsmechanischen Instituts, was man sowohl aus Abbes erstem Bericht (23 β) als auch aus Foersters Begleitschreiben — (30 β) — entnehmen kann. Im Zusammenhang mit diesen noch nicht fest gewordenen Plänen steht die Reise zum Studium der Leihausstellung von South Kensington im Jahre 1876, woran neben Abbe auch L. Loewenherz (* 31. VII. 1847, † 30. X. 1892) teilnahm, damals ein junger Beamter im Normal-Eichungs-Amt und als solcher W. Foerstern unterstellt.

Eben Loewenherz, dem eine sehr glückliche Anlage zur Behandlung von Menschen in die Wiege gelegt worden war, beschäftigte sich mit anerkennenswertem Erfolge mit der Hebung der Ausbildung der Feinmechaniker, wie er auch im Jahre 1879 die Fachausstellung der Berliner Mechaniker und Optiker auf der damaligen Berliner Gewerbeausstellung zustande brachte und ihre Ergebnisse der Öffentlichkeit in einer besonderen Schrift darbot. Wenn die Gründung der Zeitschrift für Instrumentenkunde im Jahre 1881, für die bald darauf recht beträchtliche Unterstützungen von Staats wegen flüssig gemacht werden konnten, in hohem Maße seiner Tatkraft zuzuschreiben ist, so wird es richtig sein, schon für damals eine gewisse engere Beziehung zwischen ihm und den Geheimen Räten im Kultusministerium anzunehmen, unter denen für diese Aufgabe W. Wehrenpfennig in erster Linie in Betracht gekommen sein wird.

Wilhelm Wehrenpfennig (* 25. III. 1829, † 25. VII. 1900) hatte nach F. G. Holzmüllers Nachruf (*5*) eine Ausbildung als Lehrer der alten Sprachen erhalten, war aber nach kurzer Tätigkeit an Berliner Gymnasien 1860 in das Literarische Bureau des Staatsministeriums berufen worden, schied indes 1862 — mit dem Eintritt Bismarcks in das Ministerium — vorläufig zur Ruhe gestellt, aus und widmete sich der Herausgabe der Preußischen Jahrbücher ebenso wie der parlamentarischen Tätigkeit, die er als Mitglied der nationalliberalen Partei ausübte. 1877 wurde er zunächst in das Handelsministerium berufen, 1879 aber in das Kultusministerium versetzt, wo ihm die Bearbeitung der in das höhere technische Unterrichtswesen schlagenden Arbeiten oblag. Was er nach der angegebenen Quelle dort für die allgemeinen Aufgaben geleistet, gehört nicht in unsern bescheidenen Aufsatz über ein enges Sondergebiet, dem wir uns nunmehr ausschließlich zuwenden.

Daß er den Vorbereitungen zu dem mehr oder minder deutlich geplanten Institut für Feinmechanik nahegestanden hat, ergibt sich schon aus seiner Stellung im allgemeinen, und man wird es als durchaus wahrscheinlich annehmen, daß ihm Abbe und Schotts vorläufiger Bericht gleich 1882 zur Begutachtung vorgelegen hat.

Wenn man beachtet, daß es im Jahre darauf im Unterrichtsministerium wirklich zur Zusammensetzung eines Ausschusses für jenes Institut für Feinmechanik kam — wissenschaftliche Männer verschiedener Art und auch zwei Berliner Mechaniker (R. Fueß und C. Bamberg) wurden dazu berufen —, so kann man mit Bestimmtheit annehmen, daß die Anregung Abbes in der Zwischenzeit bis zum Herbst 1883, wo wir ohne unmittelbare Nachricht sind, auf willige Gemüter wirkte. Dazu paßt es ausgezeichnet, daß bei F. Auerbach (**2.** 238 β) von einer Reise Abbes nach Berlin im November 1882 berichtet wird, wo die Frage, Staatsbetrieb oder Privatbetrieb mit staatlicher Unterstützung, entschieden wurde. Aus dem Foersterschen Begleitschreiben ist ja bekannt, daß Foerster die erste Möglichkeit ins Auge gefaßt hatte; man wird mit Hrn. Auerbach annehmen müssen, daß die Entscheidung für die zweite Möglichkeit im wesentlichen auf den Einfluß Abbes zurückzuführen gewesen sein wird.

In der Zwischenzeit beschäftigte man sich in Jena auch mit dem von W. Foerster so lebhaft geforderten Thermometerglas und O. Schott hat, durch freundschaftliche Beziehungen zu F. Wiebe auch getrieben, nach (**9.** 178 δ) im März 1883 die erste Schmelze für Thermometerglas angesetzt. Weiter unten wird darauf noch einzugehen sein.

Auch Auerbach (**2.** 238) nimmt an, daß sich schon um die Zeit von Abbes Berliner Reise vom November 1882 Wehrenpfennig im Auftrage des Kultusministers G. v. Goßler mit der Glasangelegenheit befaßt und daß der sogleich zu besprechende „Brandbrief" C. Bambergs die Angelegenheit in schnelleren Fluß gebracht habe. Hinzufügen läßt sich noch aus den Berliner Akten, daß der Kultusminister unter dem Vorsitz des Wirkl. Geh. Rats Greiff auf den 30. November 1882 eine „Konferenz zur Beratung von Vorschlägen in bezug auf Förderung der wissenschaftlichen Mechanik" einberufen ließ, an der neben Wissenschaftern, Offizieren des Generalstabs und den Vertretern der einschlägigen Ministerien auch zwei Berliner Mechaniker, R. Fueß und C. Bamberg, teilnahmen. Hieraus erklärt sich dann leicht die sogleich zu erwähnende Mitteilung Greiffs an C. Bamberg in einer von den allgemeinen Fragen zur Mechanik ab und auf die Förderung der Glasbeschaffung im besonderen führenden Angelegenheit.

Wenden wir uns dem Briefe Bambergs vom 7. X. 83 zu, so ist sein Inhalt hier von verschiedenen Gesichtspunkten aus von der größten Wichtigkeit: Man hört von der Sicherheit in der Beherrschung von Glasflüssen, wie sie um diese Zeit Otto Schott schon eigen war; dabei legte Bamberg, wie bei seinem Unternehmen nur natürlich, den größten Wert auf die Möglichkeiten zur Verbesserung der Fernrohrobjektive. Dafür waren schon theoretische Vorarbeiten geleistet und die Bedeutung der dreifachen Objektive wurde betont, wenn es darauf ankäme, die Hebung einer größeren Menge von Fehlern gegen die Strahlenvereinigung zu erreichen. Auch von vorliegenden Fortschritten der Mikroskopobjektive weiß er zu berichten, und zwar (33) war ein schwaches Apochromatobjektiv (ein Einzöller mit n. A. = 0,30) bereits hergestellt und als ungewöhnlich leistungsfähig erprobt. Aber nicht diese so erfreulichen Leistungen sind die Hauptsache an dem Briefe; viel mehr die Mahnung an die Behörden zur Eile, da diese vielversprechenden Ansätze durch den Mangel an Geldmitteln zu verkümmern drohten; möglicherweise müßte O. Schott, durch die Not getrieben, an eine Stellung bei Feil in Paris oder bei Chance Bros. in Birmingham denken.

Die Bearbeitung dieses an den damals gerade in Paris weilenden W. Foerster gerichteten Briefes ist wirklich im schnellsten Tempo geleistet worden, denn wie F. Auerbach (**2.** 239) mitteilt, wurde eine Woche danach, am 15. Oktober, schon eine Besprechung im Ministerium abgehalten, wobei man beschloß, dem Landtag eine ent-

sprechende Vorlage zu machen. Bereits am Tage danach, dem 16. Oktober, konnte der Ghrt. Greiff an W. Wehrenpfennig berichten, daß er dem Schreiber des Briefes, Bamberg, mündlich (32) Mitteilung von den günstigen Aussichten für eine Beihilfe aus öffentlichen Mitteln gemacht habe.

Ich möchte glauben — Unterlagen dafür habe ich bei dem Jenaer Mangel an Sinn für historische Forschung nicht — daß sich Wehrenpfennig spätestens um diese Zeit nach Jena begeben hat, um die Anlagen und die Männer kennen zu lernen, für die er in der nächsten Zeit so eifrig zu arbeiten haben würde. Sichergestellt ist durch die Aussagen von Frau G. Unrein, Abbes älterer Tochter, daß Abbe und Wehrenpfennig eine wirkliche Freundschaft verband, und man kann annehmen, daß sie in diesen Monaten geschlossen wurde. Der hochgestellte und Abbe an Alter um ziemlich 11 Jahre voraufgehende Beamte hat offenbar die Bedeutung Abbes anerkannt und mit Milton zu reden „den Meister des Werks" bewundert. Wenn man in den Akten findet — darauf wird noch im einzelnen einzugehen sein —, wie er in der von Abbe angegebenen Richtung wirkt und Eingaben den Weg ebnet, ehe sie überhaupt geschrieben sind, so wird man vielleicht mit mir übereinstimmen, daß auch Abbes und Schotts große Eingabe 4 mit ihren 8 Beilagen vorher mit Wehrenpfennig besprochen worden war.

Zur Herbeischaffung der Beilagen mußte namentlich mit dem Kommerzienrat Emil Busch aus Rathenow ein Briefwechsel geführt werden; seine Äußerung war besonders wichtig, weil er damals der einzige optische Großfabrikant war und weil daneben sein Unternehmen auf preußischem Gebiete lag. Sein Bericht wurde am 27. November 1883 nach Jena abgesandt. Eine andere Anfrage, von der Stützerbacher Firma Greiner & Friedrichs, war kurz vorher eingelaufen und konnte ebenfalls mit Vorteil als Belegstück vor dem Minister verwendet werden. Alle übrigen Beilagen wurden in Jena hergestellt und sollen bei der Eingabe besprochen werden.

Diese Eingabe wurde am 5. Januar 1884 abgesandt und nahm ausdrücklich auf die Mittlerschaft Wehrenpfennigs Bezug.

Der eigentliche Bericht (37/90) schildert in I zunächst den gegenwärtigen Stand der Versuche und ihre Ergebnisse. Mit einem etwas vergrößerten Stabe von Mitarbeitern konnten zunächst die allgemeinen Grundlagen vervollständigt werden. Mit dem Silikatglas lasse sich eine Verbesserung des sekundären Spektrums nicht erzielen; dafür seien als Grundlage Borat- und Phosphatflüsse zu wählen, die eben in ihrem Hauptbestandteil den angestrebten Eigenschaften näher stünden als die Kieselsäure. — Bei der Herstellung praktisch zu verwertender Flüsse müsse man darauf achten, daß nicht zuviel von den theoretisch möglichen Vorteilen preiszugeben sei; im wesentlichen scheine die Aufgabe gelöst. Die in Aussicht gestellten Möglichkeiten von Lösungen (der Fraunhoferschen und der Abbeschen Aufgabe) seien gesichert.

Man wird zweckmäßig hier eine Einschaltung machen, um sich vom heutigen Standpunkt aus zu Abbes Beilage I (58/65) zu äußern. Hier — also vom Ende des Jahres 1883 — finden sich schon die 5 Abbeschen Grundlinien A', C, D, F, G', die sich bis in das 2. Jahrzehnt des 20. Jahrhunderts hinein im Gebrauch gehalten haben; hier ist der ν-Wert (noch als $1/\nu$-Wert) eingeführt, und man erkennt, aus welchem Grunde — um der Bequemlichkeit kleiner Zahlen willen ohne eine Reihe von Nullen des Dezimalbruchs — Abbe den Kehrwert ν des Zerstreuungsverhältnisses als eine seiner Zahlen für die Grundanlage einer Glasart eingeführt hat. Auch die Teilzerstreuungen zwischen A' und D, D und F sowie schließlich F und G' werden schon angegeben, dagegen noch nicht deren Verhältnisse zu der mittleren Zerstreuung zwischen

C und *F*. Diese Darstellung, die tatsächlich schon A. C. Clairaut 1762 vorschwebte, ist erst 1886 bei der Herausgabe des ersten Glasverzeichnisses durchgeführt worden; zu Ende des Jahres 1883 hat sich Abbe einer Darstellung bedient, die von J. Fraunhofer 1817 benutzt worden war, und hat das Verhältnis der Teilzerstreuungen Flint : Kron für je ein Glaspaar zwischen *A'* und *D*, *D* und *F* sowie *F* und *G'* gebildet. Er konnte — ganz wie sein großer Vorgänger zwei Menschenalter zuvor — zeigen, daß die so gebildete Reihe bei Silikatglas alter Art ständig und merklich anstieg, während sie bei den neuen Glasflüssen stets viel weniger anstieg, gelegentlich auch ein Minimum zeigte als Ausdruck für die Tatsache, daß durch Glaspaare dieser Art die Herbeiführung einer Farbenvereinigung mit allein tertiären Fehlern ermöglicht wurde. Die Erfüllung der Abbeschen Bedingung wurde durch Aufzählung geeigneter Schmelzen dargelegt. Die uns heute geläufige bildliche Darstellung der Anordnung ausgewählter Glasarten nach den Punktkoordinaten n und $\Delta n = n_F - n_C$ ist zuerst wohl 1886 von S. Czapski (**3.** 345) veröffentlicht worden.

Fraunhofers Name kommt in der Beilage I nicht vor, da er für die dort vorausgesetzten Leser schwerlich eine Erleichterung gebracht hätte; wie außerordentlich hoch Abbe seine Leistungen gerade als Glasschmelzer eingeschätzt hat, kann man am besten aus seiner Rede zur Feier von Fraunhofers 100. Geburtstage (Ges. Abh. **2.** 319/38) entnehmen; doch gedenkt er, wie das Namensverzeichnis angibt, seiner unsterblichen Verdienste auch noch an anderen Stellen dieser Akten. Nunmehr werde der Bericht weitergeführt.

Für das Fernrohr werden die schon aus dem Bambergschen Brief bekannten Angaben auch hier gegeben; bei zweigliedrigen Objektiven würde sich das sekundäre Spektrum immerhin sehr wesentlich vermindern lassen. — Den Ursachen der Schlierenbildung, der Spannung und der Verfärbung sei man im Hinblick auf die Verwendung für praktische Zwecke ganz besonders eifrig nachgegangen; das Endgültige werde sich erst in der Versuchshütte zeigen lassen. — Der Umfang der Schmelzarbeiten sei sehr groß, man habe am Ende des Jahres 1883 schon 700 Schmelzen ausgeführt und eine sehr große Zahl genauer chemischer Analysen gemacht. — Mit dem Thermometerglas habe Schott Versuche angestellt, habe die Ursache der starken thermischen Nachwirkung erkannt und einen Weg, sie zu vermeiden, gefunden. — Die Versuche zu praktischer Erprobung der neuen optischen Glasarten hätten namentlich für das Mikroskopobjektiv zu sehr erfreulichen Ergebnissen geführt. Zu dem Bambergschen wäre noch ein stärkeres Objektiv (ein Sechstelzöller mit n. A. = 0,86) gekommen, und diese beiden hielten ganz ungewöhnlich starke Vergrößerungen mit Vorteil aus.

II. Der Plan für die Fortsetzung der Versuche und ihre Überleitung in eine regelmäßige gewerbsmäßige Herstellung. Es sei eine Versuchsglashütte von Abbe, Schott und beiden Zeiss gegründet worden, um eine wirkliche leistungsfähige Hütte zu schaffen. Auch das Thermometerglas sei zu bearbeiten und hinsichtlich des optischen Glases solle hergestellt werden, was Gewerbe oder Wissenschaft im Rahmen des Möglichen verlangten, also auch die gewöhnlichen Glasarten.

III. Rechtfertigung des Gesuchs um Staatsbeihilfe zur Weiterführung der Arbeiten. Dafür sei zunächst die Kostspieligkeit der weiteren Versuche anzuführen, sobald man daran ginge, die Endarbeit zu leisten und die vorher gewonnene wissenschaftliche Erkenntnis zu der ja eben als Ziel genommenen gewerblichen Herstellung auszunutzen. Ein solcher Versuch werde zwar kaum je die hineingesteckten Kosten lohnen, aber für die technische Optik von grundlegendem Nutzen sein. Ähnliche Aufgaben wie die wissenschaftliche Vorarbeit hätten von dem staatlichen Institut für Feinmechanik doch

auch geleistet werden müssen, und nun kämen die Bittsteller glücklicherweise nicht mit leeren Händen, sondern böten eine umfangreiche wissenschaftliche Vorarbeit mit erfreulichen Ergebnissen als Gegengabe. Auch wirtschaftlich würden gerade nach dem Buschischen Gutachten die optischen Großbetriebe Preußens einen Vorteil haben im Frieden sowohl als besonders auch im Kriegsfalle. — Schließlich würden andere Zwecke, etwa die Herstellung von Leuchtturmlinsen im Inlande und die Lieferung blasfähigen Glases von abweichendem thermischen Verhalten, von dem zu gründenden Unternehmen ebenfalls gefördert werden.

Man kann hier zweckmäßig eine Pause machen und bemerken, daß es sehr wohl möglich gewesen wäre, neben dieser gleichsam inneren logischen Begründung der nachgesuchten Staatsunterstützung auch noch eine äußere, auf ältere Vorgänge gestützte zu geben. Ich will das hiermit nachholen, namentlich im Hinblick auf Meinungen aus dem früher gegnerischen Auslande, die die Unterstützung durch den preußischen Staat als etwas Unerhörtes und beinahe Ungehöriges hinstellten.

Im 18. Jahrhundert war, wie M. v. Rohr (**7.** 781/2) im einzelnen nachweisen konnte, die Unterstützung der Flintschmelzer ganz allgemein; mindestens haben die beiden westlichen Großmächte, auch soweit unsere noch dürftige Kenntnis dieser Bestrebungen reicht, sehr ansehnliche Summen als Preise ausgelobt, und auch (**7.** 793) im napoleonischen Kaiserreich hat man mit diesem Brauche nicht gebrochen. In diese Gruppe kann man ungezwungen auch die verhältnismäßig bedeutenden Unterstützungen rechnen, die nach M. v. Rohr (**8.** 54) der Großherzog Karl August von Sachsen an Fr. Körner für dessen erfolglose Bemühungen als Flintschmelzer hat zahlen lassen.

Aber abgesehen von dieser ganz einfach zu übersehenden wirtschaftlichen Aufgabe hat man schon frühzeitig auch rein wissenschaftliche Unternehmungen — freilich und verständlicherweise mit einem Ausblick auf lohnende Verwertung — gefördert. Ich kann hier auf die Pfründe von 120 £ (= 2450 RM.) hinweisen, die dem schottischen Schiffswundarzt R. Blair 1785 verliehen wurde, um seinen Forschungen zur Hebung des sekundären Spektrums ohne Sorgen nachzugehen. Da Blair bis 1828 lebte, so hat diese (vergebliche) Unterstützung einer wissenschaftlichen, mit großer Hingabe verfolgten Aufgabe den schottischen Finanzen eine bare Ausgabe für 43 Jahre also von etwa 105000 RM. gekostet. Auch auf die gewaltig großen Ausgaben für die Glasarbeiten unter M. Faradays Leitung zwischen 1825 und 1829 ist hinzuweisen, wie sie der englische Staat unternahm, abgesehen von den Nebenkosten anscheinend mit einem baren Aufwande von 6000 £ (= 122000 RM.). Darüber ist bei M. v. Rohr (**7.** 792) Näheres nachzulesen.

Diese aller Ehre werten Bestrebungen kamen den Gelehrten nur aus der Erinnerung, weil ein geradezu unerhörter Glücksfall, das Zusammenarbeiten des erfindungsreichen Glasschmelzers P. L. Guinand und des Schöpfers der neuzeitigen Feinoptik J. Fraunhofer mit dem Fabrikherrn J. Utzschneider, in den Jahren zwischen 1809 und 1813 dem unvergleichlichen bayrischen Unternehmen nicht nur die Grundlage für die wirtschaftliche Herstellung der üblichen Glasarten lieferte, sondern nach 1813 auch die ersten zielbewußt geleiteten Bestrebungen entstehen ließ, Glaspaare zu schmelzen mit besser übereinstimmendem Gange der Zerstreuung. All das hatte geschaffen werden können durch die Mittel Utzschneiders, die — *s. diese Zeitschr.* ***46.*** *287/8. 1926* — in einer Höhe von 80000 fl (= 137000 RM.) herangezogen wurden. Als nun infolge des fast unverständlichen, kleinlichen Eigensinns Utzschneiders die Guinand-Fraunhoferschen Schmelzverfahren in das Ausland verschleppt wurden, da war es möglich (weil sich Utzschneider gleichsam schmollend beiseite stellte), daß in der

Westschweiz, in Paris und — nach 1848 — auch in Birmingham Schößlinge des in Oberbayern entwickelten Schmelzverfahrens erwuchsen und den alten Stamm wirtschaftlich ganz und gar in den Schatten stellten, ja ihm schließlich Luft und Leben nahmen. Und das alles konnte geschehen durch privatwirtschaftliche Leitung, ohne daß der Staat in Anspruch genommen wurde.

So war eben der alte Brauch des 18. Jahrhunderts außer Übung gekommen, und es bedeutete schon etwas, daß E. Abbe ein solches von allem Bekannten abweichendes Verfahren vorschlug.

Die Untersuchungen von W. V. V. Harcourt, die seit 1862 und unter der Teilnahme von G. G. Stokes auf die Herstellung von Proben optischen Glases neuer Zusammensetzung gerichtet waren, wird man nicht zu der gewerbsmäßigen Herstellung rechnen können. Sie entsprachen — auf den Kampf gegen das sekundäre Spektrum beschränkt — etwa der ersten Stufe der Abbe-Schottschen Arbeit bis 1882 oder allenfalls bis 1883; der einzige Versuch im Großen, der mit Titanglas (**6.** 420) gemacht wurde, ging auf Kosten des Chanceschen Glaswerks, und man gab die Versuche auf, sowie sich diese Probeschmelzung als des erhofften Vorteils entbehrend herausgestellt hatte. Man kann mithin, ohne die hohe Bedeutung dieser Bemühungen namentlich seit der Beteiligung von G. G. Stokes (**6.** 420) im geringsten zu unterschätzen, in der Geschichte der Unterstützung von Glasschmelzhütten aus öffentlichen Mitteln über diese in die Jahre von 1862—1870 fallenden Bestrebungen hinweggehen.

Schule hat die Teilnahme des preußischen Staates erst während des großen Krieges und nachher gemacht. Dabei ist aber, soweit man sehen kann, die Unterstützung von Unternehmen zur Herstellung von Schmelzen mit neuartigen Eigenschaften — wenn sie überhaupt geübt wurde — der Aufgabe gegenüber ganz in den Hintergrund getreten, den heimischen Werkstätten die Verfügung über die gewohnten (jetzt aber auch die zuerst in Jena erfolgreich geschmolzenen) Glasarten in Kriegszeiten offen zu halten. Es ist das eben der Beweggrund, den Abbe (55 *β*) schon 1884 angeführt hat, und die außerordentlich großen Mittel, die jedenfalls in Nordamerika und in England im Laufe der Jahre seit 1914 dafür flüssig gemacht worden sind, rechtfertigen, wenn das noch nötig wäre, diesen besonderen der gleichsam groben Abbeschen Beweggründe. Für ihn selbst trat er ohne jede Frage hinter dem Wunsch zurück, neue Glasarten für wissenschaftliche Zwecke herzustellen. Es ist mir nicht bekannt, daß man bei den neuen Glaswerken in den westlichen Großmächten nach dieser Richtung größere Erfolge gehabt hätte, mit andern Worten merklich über das in Jena geleistete hinausgekommen sei.

Wendet man sich nach dem Abschluß dieser Einschaltung über sonst bekannte Staatshilfen an Schmelzer optischen Glases wieder der möglichst genau niederzulegenden Geschichte der Jenaer Hütte zu, so ist zu bemerken, daß nach dem Staatshaushaltetat für 1884/5 ein erster Beitrag des Staates von 25000 M. eingestellt worden war, der auch wirklich vom Abgeordnetenhaus bewilligt wurde. Bei F. Auerbach (**2.** 239/40) ist ein Teil der bei dieser Gelegenheit von dem Abgeordneten R. Virchow gehaltenen Rede leicht zugänglich gemacht. Der Minister G. v. Goßler teilte diesen Erfolg unter dem 9. April 1884 an Abbe und Schott mit; man hat die anteilnehmende Form des Schreibens, das auf die wirtschaftliche Seite der Angelegenheit genauer eingeht, die wissenschaftliche wenigstens streift, W. Wehrenpfennig zuzuschreiben; sein Vorgesetzter ließ sich derart von ihm für diese Sache erwärmen, daß er bei dieser Gelegenheit eine Bemerkung machte, woraus eine innere Beteiligung des Ministers an der Verbesserung des optischen Glases hervorgeht. Das ist zweifellos mehr, als man von einem über-

arbeiteten Verwaltungsbeamten mit juristischer Vorbildung erwarten kann. Freilich handelte es sich um denselben Minister, der zwei Jahre darauf durch die Empfehlung M. Nitzes als Dozenten an der Friedrich-Wilhelms-Universität der Instrumentenoptik einen dauernden Dienst leistete.

Wehrenpfennigs Fürsorge blieb aber weiter rege; ohne Frage war er von dem weiteren Geldbedarf der Jenaer Hütte in Einzelheiten unterrichtet und hatte die Notwendigkeit eingesehen, möglichst noch für den Etat von 1885/6 eine solche zweite Beihilfe zu beantragen. Wie aus dem Aktenblatt von Seite 96 gefolgert werden kann, hatte er mit Abbe schon für die erste Junihälfte die Einreichung einer Eingabe verabredet, die indes zunächst ausblieb, wie man das mit der unvermeidlichen Langsamkeit der Entwicklung auf dieser Stufe erklären kann. Da die Zeit drängte, so hat er für Abbe einen Empfang beim Minister vermittelt, der bestimmt im Juni stattgefunden hat und nach Seite 96 auf den 15. jenes Monats, einen Sonntag, zu verlegen ist. Dort ist auch die Bitte um eine zweite Beihilfe zunächst mündlich begründet worden.

Diese Zeitannahme, die mit nur einem einzigen Berliner Aufenthalt Abbes im Juni 1884 rechnet, gewinnt eine sehr große Wahrscheinlichkeit dadurch, daß schon am 18. Juni ein von Wehrenpfennig verfaßter Entwurf für ein Schreiben des Kultusministers vorlag, worin er den Finanzminister um seine Zustimmung ersuchte, einen zweiten Betrag von 35000 M. in den neuen Etat einzustellen; die Annahme sei bei der günstigen Stimmung der Mehrheit des Abgeordnetenhauses wohl zu erwarten.

Abbe wird vermutlich die Schwierigkeit, zur schriftlichen Begründung seines zweiten Gesuches Neues vorzubringen, schmerzlich empfunden haben, da auf dieser Stufe der Vorbereitung, wo der große Gasofen mit Regenerativfeuerung noch nicht erprobt war — man beachte nur seine lebhafte Schilderung der Schwierigkeit, ihn bedienen zu lernen auf Seite 126/7 —, eben nicht viel zu berichten war. Die schriftliche Begründung wurde sozusagen in Absätzen abgestattet, nämlich am 27. August und am 17. September 1884. In beiden Gesuchen wird ganz großes Gewicht darauf gelegt, daß in der nächsten Zukunft keine Einnahmen zu erwarten seien, die irgendwie die sehr großen Ausgaben der Vorbereitungszeit decken könnten. Aus diesem Grunde erscheine eine erneute Beihilfe des Staates von größter Notwendigkeit. An bestimmten Hoffnungen wird (111 ε) die Erwartung geäußert, binnen weniger Wochen Thermometer aus neuem Glase in tatelloser Beschaffenheit an die Normal-Eichungs-Kommission zu liefern, Probestücke von optischem Glase in größeren, gebrauchsfähigen Stücken vorzulegen und schließlich einige ganz starke Mikroskopobjektive [Apochromate] fertigzustellen, die die neuen Glasarten enthielten. Dem zweiten Teile der letzten Eingabe vom 17. September war ein eingehender Kostennachweis beigelegt, der die für schmale Börsen sehr umfangreichen Ausgaben für den Eintritt in eine gewerbsmäßige Herstellung von Glas in allen Einzelheiten dartat.

Ohne die mindeste Zeit zu verlieren — der Wehrenpfennigsche Entwurf für das Schreiben an den Finanzminister trägt das Datum vom 19. September —, wurde die erste anregende Mitteilung vom 18. Juni an dieser wichtigen Stelle wiederholt und durch Berücksichtigung des Kostennachweises vom 17. September verstärkt. Der Finanzminister hat gegen diese Anregung des Kultusministers keinen Einspruch erhoben, denn in der Tat erscheint in dem 1884 gedruckten Staatshaushaltsetat für 1885/6 der von G. v. Goßler auf Seite 99 und 122 vorgeschlagene Posten von 35000 RM., wie man es aus der Beilage B auf Seite 124 entnehmen kann.

In der Zwischenzeit bis zur Zustimmung des Landtags hatte Abbe es für seine Pflicht erachtet, den Rathenower Fabrikanten mit dem damals größten Glasverbrauch

in Deutschland, nämlich den ihm wohlbekannten E. Busch, zu einem Besuch des neuen Glaswerks einzuladen. Konnte er doch bei dem Verfasser des auf Seite 78/86 abgedruckten Gutachtens einen lebhafteren Anteil an den neuen Unternehmen voraussetzen, und ihm als einem der Gründer mußte daran liegen, eine praktische Probe mit der Verwendung der neu hergestellten Jenaer Glasarten in einem fremden Betriebe zu machen. Die Schilderung (126/7) ist ungemein fesselnd, und man erhält ein mit noch lebhafteren Farben ausgeführtes Bild, als er es auf Seite 110/1 dem Minister dargeboten hatte. Auch Zahlen über die allmählich von O. Schott erworbene Fähigkeit, eine vorgeschriebene Brech- und Zerstreuungszahl zu treffen, werden offen mitgeteilt. Dem Verfasser ist nur ein einzelnes älteres Beispiel — *s. diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 473 α. 1925* — bekannt (es geht auf W. Fr. Voigtländer und die 50er Jahre des vorigen Jahrhunderts zurück), doch ist leider dafür keine Ziffernangabe mitgeteilt, vielmehr ist der Ausfall eines bestimmten Versuchs als maßgebend für eine befriedigende Erfüllung der von dem Bezieher an die liefernde Glashütte gestellten Forderung vorgeschrieben. Der im Laufe eines Monats folgende zweite Brief Abbes an Busch — auch ihn verdankt der Herausgeber der Freundlichkeit von Hrn. Direktor K. Martin — gibt Nachricht von einer inzwischen noch etwas weiter gesteigerten Treffsicherheit.

Anfang April, ziemlich genau ein Jahr nach der Kunde von der Bewilligung der ersten Beihilfe, vermochte nach Seite 135 der hilfreiche Freund W. Wehrenpfennig an die Jenaer Genossenschaft die Mitteilung gelangen zu lassen, daß der Landtag auch dem neuen Vorschlage der Regierung zugestimmt habe und somit die zweite, größere Beihilfe bewilligt worden sei.

Man wird annehmen müssen, daß Abbe nunmehr im Spätsommer des Jahres 1885 mit dem Angebot von Probelieferungen auch an andere deutsche Optikerwerkstätten herangetreten ist, wie er das (***1.*** 197 δ) bald danach ausdrücklich angegeben hat. Von Probelieferungen: denn dieses Jahr mußte nach seiner Darstellung für den Kultusminister noch zu der für die Erprobungen im Großen durchaus notwendigen Versuchszeit gezählt werden. Im Jahre darauf, 1886, erschien dann im Hochsommer die erste Preisliste, und das Jenaer Glaswerk trat damals in den offenkundigen Wettbewerb mit den beiden großen ausländischen Hütten ein.

Neben den Mitteilungen in Abbes beiden an E. Busch gerichteten Briefen wird S. Czapskis Bericht (***3***) und schließlich der Hinweis von O. Schott (***9.*** 180 β) genügen, um ein gewisses Bild von der Entwicklung des Jenaer Werks für optisches Glas in den ersten Jahren des Wettbewerbs zu erhalten. Man weiß aus den Akten (113, 130), daß Abbe selbst an eine lohnende Herstellung optischen Glases nicht glaubte, und man wird sich wohl vorstellen müssen, daß der Großbetrieb damals in hohem Maße auf die gebräuchlichen älteren Glasarten beschränkt blieb, denn die S-Schmelzen für Mikroskopobjektive fielen aus dem Großbetriebe aus; und es scheint, als seien die ersten Glasarten für Fernrohrobjektive mit vermindertem sekundären Spektrum nicht haltbar genug gewesen. Mit einer solchen Annahme würde es sich vereinigen lassen, daß S. Czapski, der doch 1886 (*s. diese Zeitschr.* ***6.*** *349 β*) für C. Bamberg derartige Fernrohrobjektive von vier verschiedenen Ausmaßen berechnet hatte, in seinem 1893 abgeschlossenen Lehrbuch auf Seite 261 α nur wenig davon erwähnt, wo man doch nähere Mitteilungen erwarten möchte. — Was die Aufnahmelinse angeht, die Abbe an verschiedenen Stellen in den Kreis seiner allgemeinen Überlegungen hineingezogen hatte, so erregten zwar die neuen Möglichkeiten einige Aufmerksamkeit, aber man kann nach Seite 341/55 meiner alten Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs nicht annehmen, daß die dort geschilderten

Bestrebungen, mochten sie nun im Inlande von D. Kämpfer, A. Miethe, M. Mittenzwey, C. Moser oder A. Steinheil, im Auslande etwa von H. Schröder, Swift & Son oder W. Wray ausgegangen sein, zu merklichen Hoffnungen für einen großen Bedarf an neuen Glasarten berechtigten.

Das wurde erst anders, als Abbe selber den Anstoß zu einer Bestellung des Feldes der Aufnahmelinsen gab. Wie aus meiner kurz zuvor angeführten alten Darstellung (S. 356) bekannt ist, wurde der vom Januar 1886 ab in Jena geschulte Rechenmeister P. Rudolph seit 1888 mit Versuchsrechnungen auf diesem Gebiete beschäftigt. Der große Erfolg mit den neuen Linsen — damals Anastigmaten, heute Protaren — hat dann in einem stets steigenden Maße die drei wichtigen Glasgruppen von Kron mit hoher Zerstreuung, Barytflint und schwerem Bariumkron absetzen lassen. Der Erfolg war so unbezweifelbar, daß man auch in England aufmerksam zu werden anfing, wie das auf Seite 235/6 meines mehrfach angeführten Buches bei dem Bericht über einen Vortrag Th. R. Dallmeyers nachgelesen werden kann. In Frankreich begann die alte Feilsche Werkstätte (nunmehr unter dem Namen Parra-Mantois bekannt), wie es scheint, gegen 1893/4 durch den Chemiker Verneuil die Herstellung neuer Glasarten aufnehmen zu lassen.

Die Nachfrage nach einem besonders harten und durchlässigen Kronglas, als *Prismenkron* bekannt, wurde wohl noch stärker, und so erlebte Abbe die Freude, daß ein technischer Betrieb, den er als bescheidenen Diener wissenschaftlicher Bedürfnisse gedacht hatte, durch seine eigenen Anregungen zu einem lohnenden Zweige des gewaltig heranwachsenden Glaswerks aufwuchs. Der große Bedarf an Prismenkron ging auf die Prismendoppelfernrohre mit Porroscher Bildumkehrung durch Spiegelprismen zurück, wie sie vom Jahre 1893 ab nach Abbes Durcharbeitung von Carl Zeiss in Jena und nach dessen Vorgange von einer Reihe von Werkstätten des In- und Auslandes hergestellt wurden. Die Bedeutung dieser und ähnlicher Geräte in dem großen Kriege ist noch lebhaft in unser aller Gedächtnis, und wohl kann man darauf hinweisen, daß das Glaswerk so dem Reich seine Dienste in der Not geleistet und dem preußischen Staate seine Hilfe reich gelohnt hat.

Wir sind am Ende und schauen zurück auf die in geschäftlicher Beziehung schöne und erstaunlich erfolgreiche Entwicklung eines in reiner und uneigennütziger Hingabe an die Wissenschaft gepflegten Gedankens. Verglichen mit den älteren Ansätzen zu einer wissenschaftlichen Behandlung fällt hier der wesentlich geringere Aufwand an Zeit und Mitteln bei einer so viel umfassenderen Aufgabenstellung auf. Daß sich das ermöglichen ließ, ist nicht die Gabe eines glücklichen Zufalls, sondern folgte nach Abbes eigener Darstellung (Ges. Abh. **3**, 72/3) aus der Möglichkeit, eine [von ihm] damals bereits vor etwa 10 Jahren begonnene Vorarbeit zu verwerten.

Quellenverzeichnis.

1. Productionsverzeichniss des glastechnischen Laboratoriums von Schott und Genossen in Jena. Juli 1886. Ges. Abh. v. E. Abbe. **2.** 194/205.

2. Auerbach, F., Ernst Abbe, Sein Leben, sein Wirken, seine Persönlichkeit nach den Quellen und aus eigener Erfahrung geschildert von — —. Mit 1 Gravüre, 115 Textabbildungen und der Wiedergabe zweier Originalschriftstücke. Leipzig 1918, Akademische Verlagsgesellschaft, XV. 512 S. gr. 8⁰.

3. Czapski, S., Mittheilungen über das glastechnische Laboratorium in Jena und die von ihm hergestellten neuen optischen Gläser. *Diese Zeitschr. 1886.* **6.** *S. 293/9 (Septemberheft). S. 325/48 (Oktoberheft) 2 +.*

4. Fueß, R., Gedenkfeier für Dr. Leopold Loewenherz (vom 11. III.). *Diese Zeitschr. 1893.* ***13.*** *S. 177/91,* +.

5. Holzmüller, F. G., Geh. Oberreg.-Rat Dr. Wehrenpfennig †. *Zeitschr. f. lateinl. höh. Schulen. 1900.* ***11.*** *383/4.* Darin findet sich als Anfang der Wortlaut des Nachrufs aus Nr. 178 vom 28. VII. 1900 im Reichs- und Staatsanzeiger.

6. v. Rohr, M., Zur Geschichte des optischen Glases. *D. opt. Wochenschr. 1915/6* ***[1.]****, 369/72; 382/5; 395/6; 404/5; 419/20; 431/4: 444/5; 470/1, 2* + (vom 19. III. bis 14. V. 1916).

7. —, —, Die Entwicklungsjahre der Kunst, optisches Glas zu schmelzen. (Ein Versuch zusammenfassender Darstellung.) *Die Naturw. 1924.* ***12.*** *781/97,* + (26. IX.).

8. —, —, Zu Friedrich Körners Gedächtnis. *D. opt. Wochenschr. 1927.* ***13.*** *53/5, 57* (30. I.); *72/4* (6. II.).

9. Schott, O., Ueber Glasschmelzerei für optische und andere wissenschaftliche Zwecke (4. VI.). Sitz.-Ber. Ver. Bef. Gewerbfl. 1888. Zu ***67.*** 162/80, 3 +.

10. Zschimmer, E., Die Glasindustrie in Jena. Ein Werk von Schott und Abbe. Mit Zeichnungen von E. Kuithan. Jena, E. Diederichs, 1909. 160 S. gr. 8⁰.

Beitrag zur Entwicklung von Dehnungsmessern kleiner Meßlänge.

Von

Dipl.-Ing. **Kurt Böttcher** in Danzig.

(Fortsetzung von S. 125.)

IV.

Das neue Dehnungsmeßgerät.

1. Der Dehnungsmesser.

Die Anregung zur Entwicklung des nachstehend beschriebenen Dehnungsmessers gaben die Meßerfahrungen mit Dehnungsmessern Okhuizenscher Bauart, die in den letzten Jahren wiederholt bei Forschungsarbeiten im Festigkeitslaboratorium der Technischen Hochschule zu Danzig Verwendung fanden, und die Notwendigkeit, bei gewissen dehnungsmeßtechnischen Aufgaben auch kleinste Dehnungen genügend genau messen zu können. Es zeigte sich nämlich bei diesen Dehnungsmessern, daß ihre Meßempfindlichkeit und die Regelmäßigkeit des Ganges durch Reibungswiderstände eingeschränkt werden, die in den Kerbengelenken des Übersetzungsmechanismus und in unkontrollierbarer Weise auch zwischen den Schneidenhebeln und den beiden diese umfassenden Verbindungsplatten auftreten. Insbesondere hatten aber auch systematische Versuche gezeigt, daß die an sich verhältnismäßig kleinen Reibungskräfte in den die beiden Vergrößerungshebel kuppelnden Gelenken einen unerwartet hohen Einfluß auf die Meßempfindlichkeit haben. Neben der Steigerung der Meßempfindlichkeit kamen als weitere Mittel zur Erhöhung der Meßgenauigkeit in erster Linie die Schaffung von Vorrichtungen für die genaue Ansetzbarkeit und Orientierung nach Punkt und Richtung für die Wyssche Meßmethode sowie günstigere Ablesemöglichkeiten an der Skala in Betracht.

Allerdings macht der nachstehend beschriebene Dehnungsmesser bezüglich seiner Ausführung nicht den Anspruch, bereits „marktfähig" zu sein. Es handelt sich dabei vielmehr um ein Versuchsmodell, bei dem es hauptsächlich darauf ankam, die Mittel und Wege zu erproben, die zu einer Weiterentwicklung der mehrhebeligen Dehnungsmesser führen können. Wenn sich nach entsprechenden Vorversuchen ein Umbau des Instrumentes als zweckmäßig herausstellte, wurden mit Rücksicht auf Zeit- und Kostenersparnis vorhandene Teile nach Möglichkeit wieder verwendet. Hieraus erklären sich die z. T. behelfsmäßigen Formen einiger Konstruktionsglieder, für deren Proportionen

zuvor auch andere Gründe mitsprachen, und geringe Abweichungen der Konstruktionszeichnung vom Lichtbilde, die für eine Neuherstellung des Apparates als zweckmäßig in Frage kommen.

Der neue Dehnungsmesser (s. Abb. 4 bis 6) besitzt eine Meßlänge von 1 cm. Die gehärteten Schneiden *i*

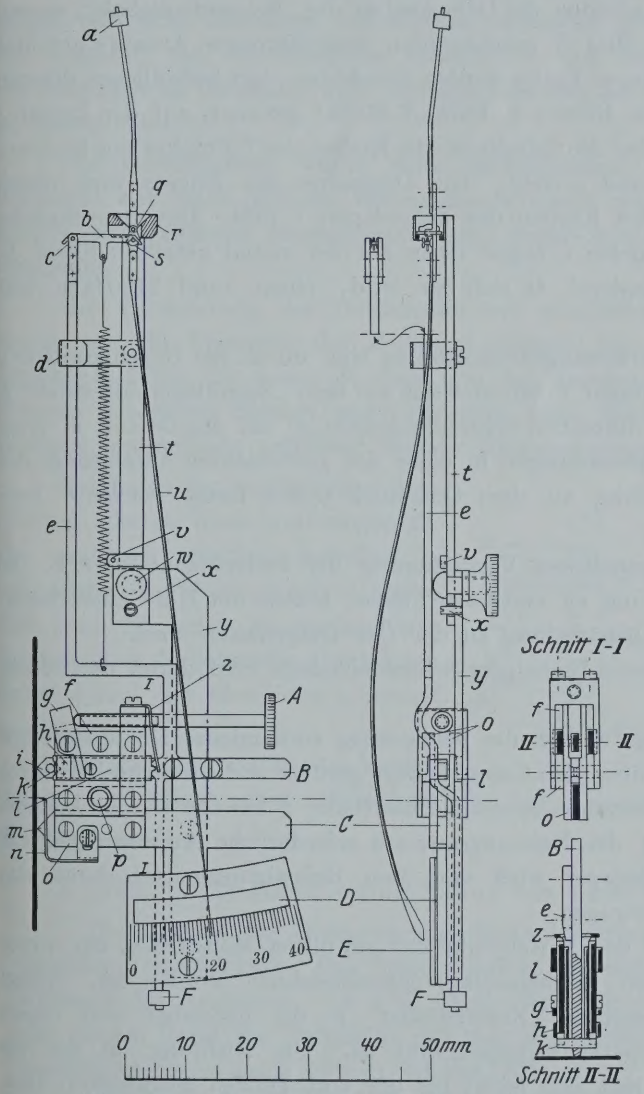


Abb. 4. Neuer Dehnungsmesser in Meßstellung. D. R. P. a.

a = Gegengewicht des Zeigerhebels,
b = T-Stück.
c = Bolzengelenk.
d = Spielbegrenzungswinkel.
e = Verlängerungsstück des Schneidenhebels.
f = Führungsleisten.
g = Hebel (bewegt Distanzierungsstück).
h = Gehäuseplättchen.
i = Bewegliche Schneide.
k = Rollbolzen.
l = Distanzierungsstücke.
m = Feste Schneide.
n = Zentrierfeder.
o = Verbindungsplatten (Rollbahn).
p = Loch für Befestigungsmittel.
q = Feste Achse des Zeigerhebels.
r = Zeigerlager.
s = Bewegliches Zeigergelenk.
t = Zeigerlagerhaltestück.
u = Zeigernadel.
v = Öse (zum Anspannen d. Feder).
w = Lösbares Gelenk.
x = Bolzen (begrenzt Spiel von *t*).
y = Querstück der festen Schneide.
z = Blattfeder.

A = Schraube.
B = Beweglicher Stiel.
C = Fester Stiel.
D = Schlitz mit Metallspiegel.
E = Skala.
F = Gegengewicht für Schneidenhebel in horizontaler Lage.

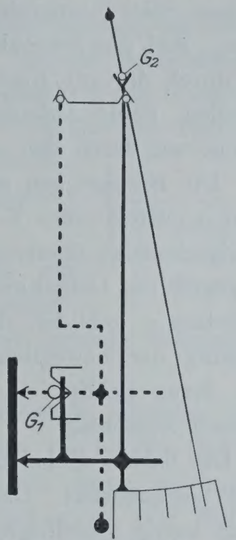


Abb. 5. Schematische Darstellung des neuen Dehnungsmessers.

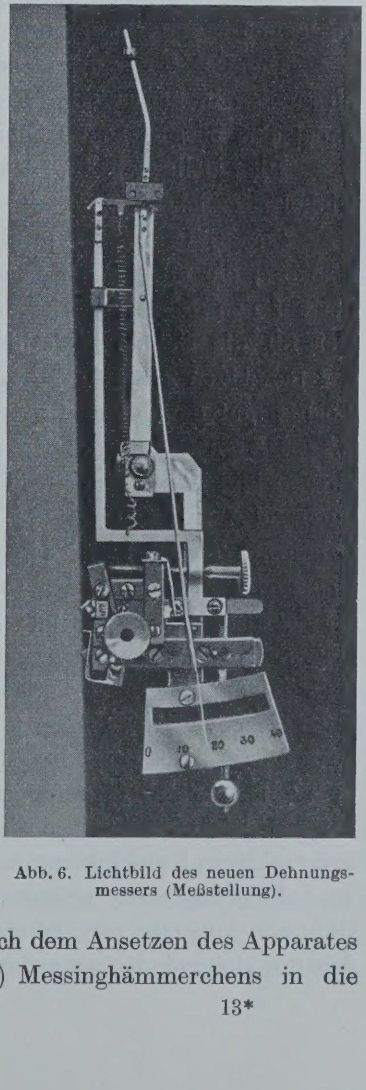


Abb. 6. Lichtbild des neuen Dehnungsmessers (Meßstellung).

und *m* der beiden meißelartigen Stiele *B* und *C* werden nach dem Ansetzen des Apparates vorsichtig mit Hilfe eines leichten (etwa 15 g schweren) Messinghämmerchens in die

Oberfläche des Versuchskörpers eingeschlagen. Der mit einem seitlichen Ansatz (Skalenträger) versehene Stiel *C* ist beiderseitig mit zwei Platten *o* verbunden, die den beweglichen Stiel *B* umgreifen und sich während der Messung auf dessen Gelenkbolzen *k* stützen. Auf den Schmalseiten dieser Platten kann der Gelenkbolzen nach seiner Freigabe durch die mit Kerben versehenen zwangläufig geführten „Distanzierungsstücke" *l* frei rollen. Seine Auflagerpunkte bilden die Gelenkachse des „Schneidenhebels", dessen Verlängerung durch den an den Stiel *B* geschraubten winkelförmigen Ansatz *e* gebildet wird. Die Bewegungen seines freien Endes werden durch den dort befindlichen dünnen Bolzen *c* mittels eines T-förmigen Reiters *b*, kurz „T-Stück" genannt, auf den Bolzen *s* des Zeigerhebels *u* übertragen, wobei die Spiralfeder die Kerben des T-Stückes mit leichtem Zug gegen die Gelenkbolzen *c* und *s* zieht. Die Drehachse des Zeigers wird durch den Bolzen *q* gebildet, der in den Kerben des Zeigerlagers *r* ruht. Die ursprüngliche Bewegung der beweglichen Schneide *i* ergibt dann auf der radial geteilten Skala *E*, durch deren Schlitz ein Metallspiegel *D* sichtbar wird, einen rund 2100fach vergrößerten Ausschlag.

Die beiden Hebel des Übersetzungsmechanismus sind durch die Gegengewichte *a* bzw. *F* ausbalanziert. Das Zeigerlager *r* befindet sich auf dem „Zeigerlagerhaltestück" *t*, das ein wenig (Spielbegrenzung durch den Schraubenbolzen *x*) um das Gelenk *w* drehbar ist und hier durch eine Klemmschraube in einer der gewünschten Anfangslage der Zeigerspitze entsprechenden Stellung an dem Querstück *y* des festen Stieles *C* festgeklemmt werden kann.

Die Öse *v* dient zur gelegentlichen Vergrößerung der Federspannung, z. B. bei Messungen in horizontaler Richtung an vertikaler Fläche, indem mit Hilfe einer Stecknadel eine entsprechende Schraubenwindung an der Öse festgehalten wird.

Die Spielbegrenzung des freien Endes der Schneidenhebels wird durch den Blechwinkel *d* gesichert.

Zur Fixierung der Meßlänge dienen die beiderseitig vorhandenen Distanzierungsstücke *l*, die mit ihren Kerben über den Gelenkbolzen greifen und abwechselnd durch die auf den Hebel *g* drückende Schraube *A* und die Blattfeder *z* bewegt werden können. Der für die sichere Meßstellung des Dehnungsmessers erforderliche Anpressungsdruck der Schneiden an den Versuchskörper wird von dem Befestigungsmittel durch das Loch *p* auf das Instrument übertragen.

Die genaue Einstellung auf den Mittelpunkt der gewollten Meßstrecke, der zuvor zweckmäßig durch einen kleinen Körnerschlag gekennzeichnet worden ist, erfolgt durch eine mit einer Spitze versehene „Zentrierfeder" *n*, die justierbar (mit einem Langloch versehen) an den Apparat festgeschraubt ist. Die Richtung, in der die Dehnung gemessen werden soll, läßt sich leicht bei der vorliegenden gewinkelten Bauart des Schneidenhebels mit Hilfe des Zeigerlagerhaltestücks *t* oder des Querstücks *y* einstellen, deren Richtungen mit der der Schneiden in Übereinstimmung gebracht worden sind. Dazu ist das vorherige Auftragen von Richtungslinien (Bleistiftstriche, Fixativüberzug) bei glatter Fläche in genügend kleinen Abständen auf der Meßfläche erforderlich. Dieses Hilfsmittel hat sich ganz besonders auch da bewährt, wo die zu vermessenden Punkte nicht in senkrecht aufeinander stehenden Richtungen angeordnet waren.

Nach der allgemeinen Beschreibung des Dehnungsmessers soll nun auf die bei der konstruktiven Durchbildung beachteten Gesichtspunkte im einzelnen eingegangen werden.

Für das erste Gelenk des Schneidenhebels wurde gegenüber der Bauart der Okhuizen-Apparate eine erhebliche Verminderung der Reibungskräfte dadurch erreicht, daß die gleitende Reibung des Drehbolzens an den Kerblagerflächen durch die rollende

Reibung an glatter Fläche ersetzt wurde, die gegenüber der ersten verschwindend gering ist.

Auf der großen Verschiedenheit der rollenden und gleitenden Reibung beruhen der Vorzug und die Möglichkeit der Anwendung des Rollgelenks für den Schneidenhebel. Während durch die kleine rollende Reibung eine leichte Beweglichkeit des Gelenks gesichert und jedes Klemmen und Kanten vermieden wird, erfüllt die gleitende Reibung *R* die Aufgabe, das überhängende Gewicht *G* des Schneidenhebels bei Messungen in vertikaler oder schräger Richtung im Gleichgewicht zu halten (Abb. 7).

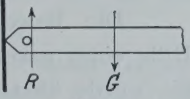


Abb. 7.

Der Gelenkbolzen wurde einer prismatischen Schneide mit Rücksicht auf seine größere Widerstandsfähigkeit gegen Beschädigungen, seine einfache Herstellbarkeit und wegen des Fortfalles jeglicher Klemmkräfte vorgezogen.

Die Verwendung des Rollgelenks war allerdings erst möglich, nachdem es gelungen war, die Fixierung der Meßlänge während des Ansetzens, die bei den Okhuizen-Apparaten durch die festen Kerben und bei anderen Apparaten durch die in festen Pfannen gelagerten Spitzen und Schneiden ohne weiteres gegeben ist, mit Hilfe abhebbarer, zwangläufig geführter Kerben (Distanzierungsstücke) sicherzustellen.

Bei der ersten vorliegenden Ausführung gleiten diese gut eingepaßt, also praktisch spielfrei, zwischen je zwei seitlichen Führungsleisten *f* (siehe Abb. 4 und 8), indem sie wechselweise durch den von der Schraube *A* betätigten Hebel *g* und die Blattfeder *z* bewegt werden.

Der so gekennzeichnete Mechanismus durchläuft drei Arbeitszustände.

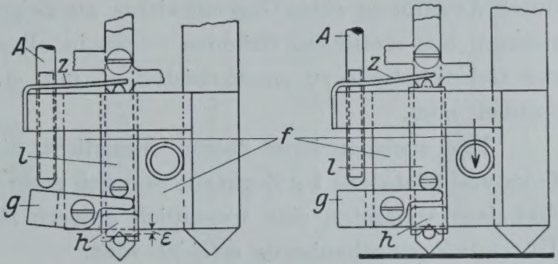


Abb. 8. Mechanismus zur Fixierung der Meßlänge.

I. (Abb. 8a) Zustand unmittelbar vor dem Ansetzen:

Die Kerben der Distanzierungsstücke *l* werden von der Blattfeder *z* auf den Gelenkbolzen gedrückt. Das Spiel ε sichert die richtige Führung des Gelenkbolzens während des Ansetzens. Es wird durch den Ansatz des Winkelstückes *e*, der gegen den oberen Rand der Verbindungsplatten *o* anschlägt, auf wenige zehntel Millimeter beschränkt (siehe auch Abb. 4, Schnitt II-II).

II. (Abb. 8b) Zustand während des Ansetzens:

Der durch das Kerblager geführte Gelenkbolzen *k* wird in dem richtigen Abstand von der festen Schneide durch den Anpressungsdruck der Klemmvorrichtungen gegen den Druck der Blattfeder *z* an die Schmalseiten der Verbindungsplatten *o* gedrückt.

III. (Abb. 4) Meßstellung:

Die Kerblager sind durch die Schraube *A* und den Hebel *g* von dem Gelenkbolzen *k* abgehoben, und damit ist die freie Drehbarkeit des Schneidenhebels hergestellt.

Der eben beschriebene Mechanismus erscheint auf den ersten Blick vielleicht

etwas kompliziert[1]). Das Arbeiten mit ihm ist aber sehr einfach, da die durch die beweglichen Kerbenlager bewirkte zusätzliche Arbeit nur in ein bis zwei Schraubenumdrehungen besteht, die wenige Sekunden Zeit in Anspruch nehmen, was bei der praktischen Meßarbeit gar nicht ins Gewicht fällt.

Neben dem Vorzug der leichten Drehbarkeit des Rollgelenks wurde auch noch der der verhältnismäßigen Unabhängigkeit seiner Beweglichkeit vom Anpressungsdruck gewonnen, was durch entsprechende Versuche bestätigt wurde.

Die Bewegungsübertragung von dem Schneidenhebel auf den Zeigerhebel mit Hilfe eines gekerbten Reiters ist prinzipiell die gleiche wie bei den Okhuizen-Apparaten. Sie wurde übernommen wegen der Einfachheit, der absoluten Spielfreiheit und der verhältnismäßig großen Widerstandsfähigkeit der Kupplungsteile gegen äußere Einflüsse.

Es mußte aber versucht werden, die in den Kerbenlagern auftretenden, nachteiligen Reibungsmomente auf ein Minimum herabzudrücken, um so mehr, als auch für den Drehbolzen des Zeigerhebels die spielfreie Lagerung in einer festen Kerbe gewählt worden ist.

Von den Größen, denen das Reibungsmoment proportional ist (Lagerdruck, Reibungskoeffizient, Cosinus des halben Kerbenwinkels, Durchmesser des Drehbolzens) läßt sich gegenüber der bei den Okhuizen-Apparaten üblichen Ausführung in weitgehendstem Maße der Lagerdruck ermäßigen (etwa um das 30 bis 60fache), und zwar durch Anordnung eines Gegengewichts am Zeigerhebel, der bei den Okhuizen-Dehnungsmessern aus statischen Gründen — um in allen Meßstellungen eine eindeutige Lagerung des Gelenkbolzens zu gewährleisten — mit einer gewissen Mindestzugkraft angezogen werden muß.

Der ausbalancierte Zeiger ermöglicht die Anwendung einer sehr feinen Spiralfeder von höchstens 1 g Zugkraft, wodurch gegenüber den bisher im Gebrauch befindlichen Okhuizen-Apparaten eine wesentlich größere Beweglichkeit und Meßempfindlichkeit des Übersetzungsmechanismus erreicht wird.

Der Reibungskoeffizient wurde durch sorgfältigstes Polieren der Kerbenflächen mit in der Metallographie gebräuchlicher, geschlämmter Tonerde auf das praktisch kleinstmögliche Maß verkleinert. Der Kerbenwinkel wurde zu 90^0 gewählt, wobei es noch ohne weiteres gelingt, die Kerben sehr scharf auszufeilen. Als Durchmesser für die Drehzapfen wurde das praktisch noch gut verwendbare Maß von 0,5 mm gewählt. Ein Zapfen von dieser Stärke ist bei den kleinen Längen noch genügend biegungsfest, um auch zufälligen Beanspruchungen Widerstand zu leisten. Außerdem liegen die Gelenkteile geschützt zwischen größeren, widerstandsfähigen Bauteilen.

Der Gefahr des Auftretens von Reibungskräften zwischen dem beweglichen Stiel und den Verbindungsplatten wurde dadurch begegnet, daß die Innenflächen der Verbindungsplatten um so viel zurückgesetzt wurden, daß der Schneidenhebel sich unter allen Umständen frei bewegt (s. Abb. 4, Schnitte). Dabei war aber dafür zu sorgen, daß sich die Schneide beim Ansetzen auch tatsächlich in der Mitte zwischen den beiden Platten befindet, was auch für die Sicherstellung der gewünschten Meßrichtung wichtig ist. Diese Forderung wurde in einfacher Weise dadurch erfüllt, daß die beiden zur Fixierung der Meßlänge dienenden Distanzierungsstücke über ihren Kerben zwei Plättchen *h* erhielten, die um wenige zehntel Millimeter über den Gelenkbolzen hinüber-

[1]) Konstruktiv wesentlich einfacher als die eben beschriebene Parallelführung der Distanzierungsstücke ist eine kreisbogenförmige Führung der Kerben um eine Drehachse, wie sie bereits in Zusammenarbeit mit der Firma Fuess-Steglitz erprobt wurde.

greifen und diesen festhalten (s. Abb. 4 und 8). Die zum Bewegen der Distanzierungsstücke l dienenden beiderseitigen Arme des Hebels g wirken seitlich etwas federnd auf diese, so daß sie den Gelenkbolzen von der Seite her mit ihren Plättchen festhalten können, sobald dieser mit leichtem Fingerdruck dazwischen gedrückt ist.

Dieses Gehäuse ist das Ergebnis einiger Vorversuche und hat sich sehr gut bewährt. Es sichert nicht nur stets die gleiche Stellung des Schneidenhebels zwischen den Platten, sondern hält diesen auch während des Ansetzens fest, was für das bequeme Arbeiten sehr erwünscht ist.

Die absolute Spielfreiheit des festen Zeigergelenks wurde durch ein festes Kerbenlager erreicht (s. Abb. 4 und 9). Dieses ist aus einem Stück gearbeitet und an das Haltestück aus Duralumin angeschraubt worden. Der Zeiger wird von oben durch eine genügend weite Bohrung eingesetzt, so daß die beiden Enden des Drehbolzens sich in die Kerben legen können. Das Spiel in Richtung der Bolzenachse wird beiderseitig durch zwischengelegte bzw. vorgeschraubte, an den Innenflächen polierte Stahlplättchen auf etwa 0,1 bis 0,2 mm begrenzt. Die Bolzenköpfe sind gleichfalls poliert und schwach gerundet, damit sie sich beim Aufstützen des Bolzens auf die Stahlplättchen (bei Horizontalmessungen an vertikaler Fläche) möglichst reibungsfrei drehen.

Die freie Beweglichkeit des T-Stücks wird durch eine bis zur Bohrung gehende Aussparung H (Abb. 9) ermöglicht.

Die Zeigernadel ist mehrteilig ausgeführt worden. Ein stählernes Mittelstück trägt die beiden Gelenkbolzen, die Zeigernadel und den Gegengewichtsarm, die beide aus Duralumin angefertigt und auswechselbar angeschraubt worden sind.

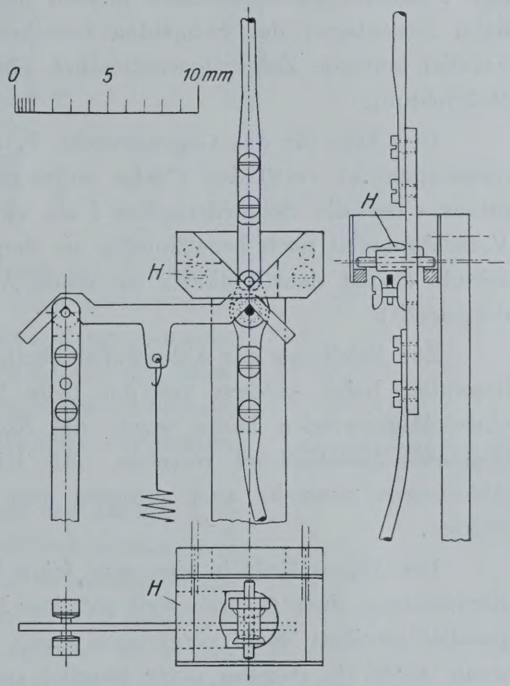


Abb. 9. Zeigerlager.

Der freie Gelenkbolzen des Zeigers ist in Form einer Doppelbundschraube auf einer kleinen Uhrmacherdrehbank hergestellt worden. Dabei wurde ganz besonders darauf geachtet, daß der Übergang der Bünde zum zylindrischen Teil des Bolzens scharf wurde, um ein Auflaufen der Kerben des T-Stücks und die dadurch entstehende Veränderung des Übersetzungsverhältnisses zu vermeiden. Die Innenflächen sind poliert worden. Der innere Bund dient gleichzeitig als Anschlag für die fest angezogene Schraube und gewährleistet so einen sicheren Sitz des Bolzens.

Um den Bolzen des festen Gelenks auf eine größere Länge zu fassen, ist der Mittelteil des Zeigers mit einem Ansatz versehen worden.

Das T-Stück hat einen einfachen Querschnitt erhalten, was gegenüber den mit 4 Kerben versehenen Formen den Vorzug einer eindeutigen Auflagerung hat. Außerdem wird dadurch sein Gewicht vermindert und seine Herstellung erleichtert. Die eigenartige Kerbenform mit den überstehenden Enden wurde durch die oben begründete außerordentliche Verringerung der Federzugkraft bedingt. Durch die überstehenden Kerbenenden wird jetzt ein Abgleiten des T-Stücks von den Gelenkbolzen verhindert,

während seine willkürliche Einführung zwischen die beiden Zeigerbolzen infolge der gewählten Abmessungen sich leicht bewerkstelligen läßt. Die Spielbegrenzung des freien Endes des Schneidenhebels durch den Winkel *d* (s. Abb. 4) dient gleichzeitig als Schutz gegen das Abgleiten des *T*-Stücks an diesem Ende.

Der Schneidenhebel besteht aus dem stählernen Meißel *B* und einem aus Duralumin gefertigten, in seinen Querschnittsabmessungen möglichst knapp gehaltenen winkelförmigen Ansatz *e* (s. Abb. 4). Die mehrteilige Form erwies sich aus verschiedenen Gründen als zweckmäßig[1]). Vor allem konnten dadurch das Kragmoment des Schneidenhebels und damit der erforderliche Anpressungsdruck des Instruments bei Messungen in vertikaler oder schräger Richtung gegenüber der einteiligen, abstehenden Form des Meißels wesentlich vermindert werden. Infolge der seitlichen Lage der oberen Gelenke des Übersetzungsmechanismus bleiben diese von den unmittelbaren Erschütterungen beim Anschlagen der Schneiden bewahrt, und schließlich bietet das zur Meßfläche parallel laufende Zeigerlagerhaltestück ein bequemes Mittel für die Orientierung der Meßrichtung.

Der Arm für das Gegengewicht *F*, das sich zum Ausgleich des bei Horizontalmessungen an vertikaler Fläche auftretenden Drehmoments des winkelförmigen Ansatzes *e* um die Schneidenspitze *i* als zweckmäßig erwies, ist bei dem vorliegenden Versuchsmodell noch behelfsmäßig an den Stiel *B* gekittet. Bei einer Neuausführung könnte er mit dem Winkel *e* aus einem Aluminiumblech gesägt werden (wie in Abb. 4 dargestellt).

Zur Erhöhung der Ablesegenauigkeit, die bei beschränkten Platzverhältnissen und besonders beim Ablesen von der Seite her infolge der Parallaxe oft erheblich beeinträchtigt werden kann, wurde die Skala mit einem Schlitz und einem darunter liegenden Metallspiegel versehen. Mit Hilfe eines kleinen Handspiegels können die Ablesungen nunmehr auch bequem von der Seite oder von hinten vorgenommen werden.

Der Zeiger läuft in eine sehr feine Flachspitze aus, die noch das Schätzen der Zehntelstelle einer 0,7 mm weit geteilten Kreisskala gestattet. Eine solche wurde einer parallel geteilten Skala vorgezogen wegen der leichteren und genaueren Ablesbarkeit[2]), wenn auch die Angabe einer parallel geteilten Skala theoretisch genauer ist. Diese Frage wird bei der Untersuchung des systematischen Fehlers rechnerisch verfolgt.

Wenn auch die Bauweise des neuen Dehnungsmessers dem Okhuizen-Apparat gegenüber an Einfachheit verloren hat, so besitzt er doch dessen einfache und schnelle Bedienbarkeit. Der geübte Beobachter braucht für das Umsetzen des Instruments (Abnehmen, Ansetzen, Meßfertigmachen) im Durchschnitt etwa 1 bis 2 Minuten. Die eigentliche Meßzeit hängt von der übrigen Versuchseinrichtung ab.

---

[1]) Ein Nachteil der gewinkelten Bauart des Schneidenhebels ist die erschwerte Zugänglichkeit von Meßpunkten, die dicht neben hervortretenden Teilen des Versuchskörpers liegen. Will man ihn vermeiden, so könnte man die Verlängerungsstücke, von denen man das zum Schneidenhebel gehörende zweckmäßig so leicht wie möglich (etwa durch Wahl eines kreis-, winkel- oder T-förmigen Querschnittprofils) ausbilden würde, in der zur Meßfläche senkrechten Richtung anordnen. Sie müßten dann aber soweit von den Stielen *B* und *C* (s. Abb. 4) abgebogen werden, daß deren Köpfe zum Anschlagen der Schneiden frei bleiben.

[2]) Bei einer parallel geteilten Skala wachsen die Schätzungsfehler mit zunehmendem Winkel zwischen Teilstrichen und Zeigerspitze.

2. Das übrige Meßgerät.

Die Art der Befestigungsmittel ist prinzipiell die gleiche wie bei den Okhuizen-Apparaten, bei denen bisher als Klemmvorrichtungen je nach der Lage der Meßstrecke

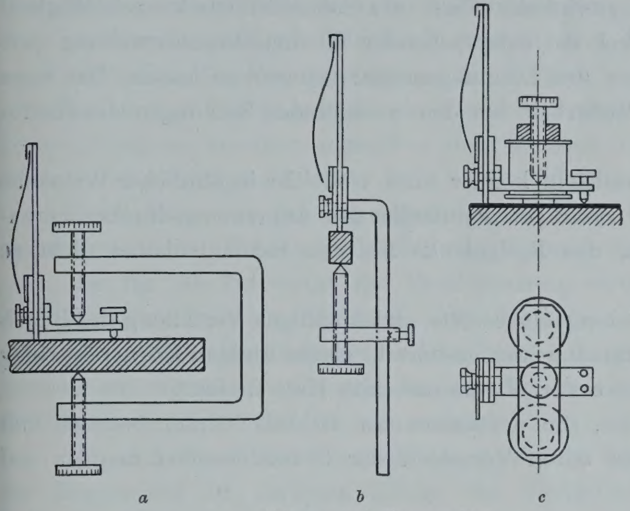


Abb. 10. Befestigungsmittel.

auf dem Versuchskörper und der Zugänglichkeit der Rückseite für Stützpunkte der Befestigungsmittel Bügel, Magnete oder auch in entsprechender Weise gespannte Nadeln Verwendung gefunden haben (s. Abb. 10). Auch hierbei ergaben sich aus der Meßerfahrung heraus einige Verbesserungen, die ganz besonders auch bei den bereits im Gebrauch befindlichen Okhuizen-Apparaten Verwendung finden können.

Die Notwendigkeit, den Dehnungsmesser von seitlich wirkenden Kraftkomponenten der Befestigungsmittel freizuhalten, und die besonders bei Okhuizen-Apparaten hervortretende Wichtigkeit konstanter, mäßiger Anpressungsdrücke führten zum **ausbalanzierten Bügel mit Spannkraftmesser** (Abb. 11). Seine Federkraft wird in einfacher Weise durch den Ausschlag eines Zeigers gemessen, dessen Drehpunkt *a* sich auf dem mit dem einen Schenkel fest verbundenen Winkel *b* befindet, und dessen Ende durch eine kleine Blattfeder *c* angetrieben wird, die an dem anderen Schenkel befestigt ist. Die Bestimmung des Skalenbeiwertes erfolgt durch direkte Gewichtsbelastung der freien Schenkelenden. Wenn die Genauigkeit solcher Kraftmessung auch nicht sehr groß ist, so genügt sie doch vollkommen zur Kontrolle des Schneidendruckes.

Die Aufhängung des Bügels geschieht über dem Schwerpunkt an einem Fadenwinkel *d*, durch den ein mit einer Blechschnalle verstellbares, möglichst langes Band greift, das senkrecht zum Aufhängepunkt (z. B. wagerechter Rundstab in der Ebene der Meßfläche) führt, damit seitlich wirkende, das Meßergebnis störende Komponenten vermieden werden[1]).

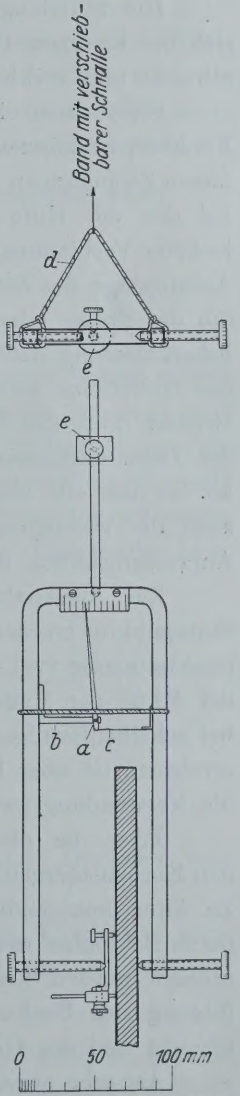


Abb. 11. Ausbalancierter Bügel mit Spannkraftmesser.

[1]) Aus dem gleichen Grunde ist darauf zu achten, daß der Anpressungsdruck der Befestigungsmittel möglichst senkrecht zur Meßoberfläche wirkt.

Ein Gegengewicht *e* dient zur bequemen und schnellen Verlagerung des Schwerpunktes, um dem Spannbügel je nach der Meßrichtung die für die Handhabung des Instrumentes günstigste Neigung geben zu können. Zu diesem Zweck wird auch die lichte Öffnung des Bügels für die gewinkelte Form des Schneidenhebels nach Möglichkeit so bemessen, daß die Schenkel bei entsprechender Klemmschraubenstellung (wie in Abb. 11 gezeichnet) sich frei über den Dehnungsmesser schwenken lassen. Das kann für den schnellen Fortschritt der Meßarbeit bei den wechselnden Stellungen des Instrumentes sehr vorteilhaft sein.

Bei den übrigen Befestigungsmitteln könnte man vielleicht in ähnlicher Weise die Elastizität eines Zwischenteils zur ständigen Kontrolle des Anpressungsdruckes heranziehen, was aber bei Verwendung des Rollgelenks für den Schneidenhebel nicht so wesentlich ist.

Ein einfaches Mittel zur Erzielung einer stets gleichmäßigen Verteilung des Bügeldruckes auf die Stützpunkte des Instrumentes besteht in einem kleinen Körnereinschlag auf dem Haltefuß, in dem die Spitze der Klemmschraube Halt findet.

Die Stützlänge des Haltefußes, die normalerweise 40 bis 60 mm beträgt, läßt sich bei knappen Platzverhältnissen durch Versetzen der Stützschrauben bequem auf etwa 20 mm verkleinern.

Stützt man einen Dehnungsmesser auf mehr als zwei auf der Meßfläche gelegenen Punkten, so können bei starker gegenseitiger Verschiebung der Stützpunkte zwischen diesen Zwängungen auftreten, die die Messungen beeinflussen. So kann man denn auch bei den mit Hilfe eines Haltefußes gestützten Dehnungsmessern bei nicht genügend lockerer Verbindung von Haltefuß und Dehnungsmesser eine ständige Verschiebung der Anfangslage des Zeigers beobachten, wie sie auch bei Rutschungen des Schneidenhebels (an der Spitze oder im Gelenk) gelegentlich auftritt. Man hat daher vor der eigentlichen Messung dafür Sorge zu tragen, daß der Dehnungsmesser nicht an dem Rücken des Haltefußes anliegt und die Klemmschraube stets gelöst ist. Aus dem gleichen Grunde muß der Stift des Haltefußes auch genügend seitliches Spiel in dem Loch des Dehnungsmessers haben. Man schleift ihn daher zweckmäßig seitlich noch etwas ab, so daß ein ungefähr eiförmiger Querschnitt entsteht. In demselben Sinne wirkt auch die Verengung des Loches in der Mitte, die gleichzeitig auch einen zentrischen Anpressungsdruck der Schneiden ermöglicht (siehe Abb. 4).

Zur Ausschaltung des störenden Einflusses der gegenseitigen Verschiebung der Stützpunkte erscheint als zweckmäßigste Art der Befestigung diejenige ebene Dreipunktstützung (vgl. Abb. 10b), bei der das „Widerlager“ der Klemmvorrichtung sich der Mitte der Meßstrecke gegenüber befindet. Diese Befestigungsart ließe sich auch bei scheibenförmigen Versuchskörpern mit Hilfe entsprechend konstruierter Spannbügel erreichen, ist aber bei der Durchführung sehr vieler Messungen nicht so bequem wie die Verwendung zweiteiliger Befestigungsmittel (Haltefuß + Spannbügel bzw. Magnet).

Trotz der oben geschilderten Maßnahmen hatte sich die gleitende Reibung in den Kerbenlagergelenken des Übersetzungsmechanismus nicht restlos beseitigen lassen. Zu ihrer letztmöglichen Ausschaltung werden daher Erschütterungen angewandt, die durch Beklopfen des Versuchskörpers, des Instrumentes oder seiner Klemmvorrichtungen erzeugt werden können. DieWahl der günstigsten Klopfstärke bleibt dabei der Erfahrung des Beobachters überlassen. Sie ist abhängig von der Masse des Versuchskörpers und der Größe der Reibungskräfte in den Gelenken.

Als sehr zweckmäßig erwies sich die Benutzung eines elektrischen Hammers, wie er als Klöppel in die handelsüblichen elektrischen Zimmerglocken eingebaut ist.

Er kann gegen den Versuchskörper schlagen; es genügt aber auch (bei nicht allzu großen Versuchskörpern) ein einfaches Anklemmen an diesen. Die Schwingungen übertragen sich dann durch den Versuchskörper auf den Dehnungsmesser. Bei größeren Versuchskörpern empfiehlt sich die Anbringung eines kleinen elektromagnetischen Summers an dem Spannbügel. Hierdurch erreicht man die gleiche Intensität der Vibration an allen Stellen des Versuchskörpers, da sie jetzt von der Masse und den örtlich verschieden starken Schwingungen des Versuchskörpers so gut wie unabhängig ist. Die kleinen Summer arbeiten gegenüber den üblichen Zimmerglocken mit einer mehrfach höheren Schwingungszahl.

Beide Arten von Schwingungserregern wurden erprobt. Ein nennenswerter Unterschied konnte bei Erhöhung der Schwingungszahl nicht festgestellt werden.

Die für die Intensität der Erschütterung erforderliche Stromstärke richtet sich nach den jeweiligen Verhältnissen. Im allgemeinen sprechen die elektrischen Zimmerglocken bei einer Stromstärke von 0,4 bis 0,5 Amp. (bei festgehaltenem Hammer gemessen) an, vertragen aber auch bei unterbrochenem Betrieb die vierfache Stromstärke, die für die größten Klopfstärken ausreicht.

Die auf diese Weise erreichbare maximale Beseitigung der Bewegungshemmung der Zeigernadel ist übrigens infolge des Rollgelenks des Schneidenhebels und der außerordentlich geringen Zugkraft der Spiralfeder schon recht bald erreicht und nähert sich als Funktion der Stromstärke (Klopfstärke) asymptotisch einem Grenzwert, wie das eigens hierfür angestellte Versuche ergeben haben.

(Fortsetzung folgt.)

Optische Multiplikatoren.

Von

Dipl.-Ing. **S. J. Turlyghin** in Moskau.

Die gewöhnlich angewandte Methode zum Messen von sehr kleinen Winkeln mittels eines sich drehenden Spiegels, der am Aufhängesystem der Meßapparate befestigt wird, (Poggendorff-Methode 1826)[1]) wurde im Laufe der Zeit öfters verbessert, um die Empfindlichkeit des Apparates zu steigern. Diese Steigerung der Empfindlichkeit wurde nicht durch die Erhöhung der zwischen den inneren Teilen des Apparates wirkenden Kräfte hervorgerufen, sondern durch eine größere Ablenkung der Lichtmarke beim früheren Drehwinkel des Spiegels. Mit anderen Worten, der aus dem Apparat herauskommende Lichtstrahl drehte sich um einen größeren Winkel als den Drehwinkel des Spiegels, weshalb solche Vorrichtungen auch den Namen „Optische Multiplikatoren“ erhielten.

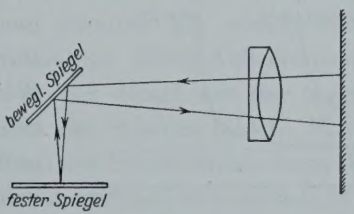


Abb. 1.

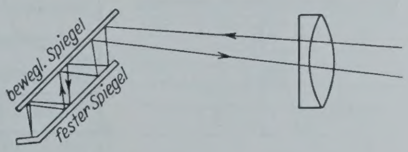


Abb. 2.

Bisher arbeiteten diese Multiplikatoren in der Weise, daß der Lichtstrahl einer Reihe aufeinander folgender Reflexionen durch einen beweglichen und einen festen Spiegel unterworfen wurde, wie es die Abb. 1 und 2 zeigen.

---

[1]) *Phil. Mag.* **44**. *S. 83. 1897; Julius Inst.* **18**. *S. 205. 1898. An optical multiplier by Place. Journ. of Scient. Instr. Apr. 1926. An optical multiplier. Journ. of Scient. Instr. June 1926, S. 322 Transact. of the Opt. Soc. June 1919. XX. Nr. 9.*

Ist der Drehwinkel des Spiegels $= \varphi$, so ist der Drehwinkel des Strahles $= 2\varphi$, wenn wir es mit einem einfachen Poggendorffschen Anhänger zu tun haben, und $= 2\varphi n$, wenn wir es mit einem Multiplikator zu tun haben, bei dem n aufeinander folgende Reflexionen vom beweglichen Spiegel stattfinden. Gewöhnlich ist die Zahl n nicht sehr hoch, da die Abmessungen des Spiegels ihrer Vergrößerung im Wege sind. Es ist zu bemerken, daß der Lichtstrahl nicht nur, wie meist üblich, senkrecht, sondern auch unter einem Winkel zur Drehachse des Spiegels gelenkt werden kann. Das letztere könnte gewisse Bequemlichkeiten beim Anwenden schmaler Spiegel für Vibrationsapparate bieten, wenn deren Drehachse parallel ihrer Längsseite ist, um das Beharrungsmoment zu verkleinern.

Jedoch kann die Frage in bezug auf die Vergrößerung des Ablenkungswinkels des Strahles auch anders gelöst werden. Man kann verschiedene andere Systeme finden, deren verschiedene Teile gehen einander sich nicht verschieben können und in denen der Lichtstrahl-Austrittswinkel im Vergleich zu dem Strahl-Eintrittswinkel sich viel stärker verändert. Als Grundlage der Konstruktion solcher Systeme kann wie die Strahlenbrechung so auch die Reflexions-Erscheinung dienen.

Die Refraktion an der Grenze zweier Körper.

Für diesen Fall haben wir (Abb. 3) $\sin\psi = n \sin\varphi$.

Uns interessiert die Größe $d\psi / d\varphi$ und ihre möglichst hohe Bedeutung

$$\frac{d\psi}{d\varphi} = n \sqrt{\frac{1-\sin^2\varphi}{1-n^2\sin^2\varphi}}.$$

Bei $\varphi = 0$ haben wir $\psi = 0$ und $\dfrac{d\psi}{d\varphi} = n$.

Beim Grenzwinkel $\sin\varphi = \dfrac{1}{n}$ erhalten wir, daß $\dfrac{d\psi}{d\varphi} = \infty$ ist.

Abb. 4 gibt den Gang der Veränderung $d\psi / d\varphi$, für verschiedene Brechungsexponenten an. Die Kurven zeigen, daß es bequemer ist, sich eines Materiales mit einem hohen Exponenten zu bedienen, da bei einem kleinen Wert die Kurve sehr stark ansteigt. Auf diese Weise kann man, rein theoretisch urteilend, die Vergrößerung der Ablenkung beliebig vervielfachen. Wenn jedoch als Maß des zu messenden Winkels ein Winkel genommen wird, bei dem der Bogen von 1 mm einem Radius 1 m entspricht, d. h. ein Winkel von $3{,}44^0$, so muß als Anfangslage des Lichtstrahles der Winkel um 1^0 (oder um $\frac{1}{2}^0$) kleiner als der Grenzwinkel genommen werden, was bei $n = 1{,}5$ eine Anfangsvergrößerung von 5,7-(und 8,2-)mal bedeutet. Für schweres Flintglas ($n = \sim 1{,}9$) wird die Vergrößerung größer sein. Die Konstruktion eines solchen Multiplikators könnte so ausgeführt sein, wie die Abb. 5 zeigt. Mit den Buchstaben A und B sind die Glasstücke gekennzeichnet, die am Ständer befestigt sind, der sich um die Achse des Anhängesystems drehen kann. Fällt auf das Glas B der Strahl unter einem Winkel von 40^0 $46'$

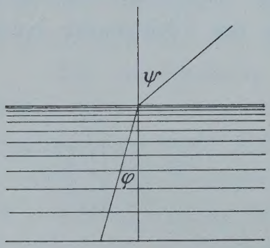


Abb. 3.

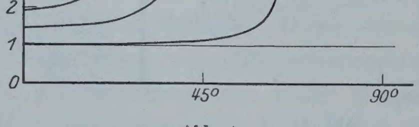


Abb. 4

(für $n = 1{,}5$ wird der Grenzwinkel $41^0\,46'$ sein), d. h. um 1^0 kleiner als der Grenzwinkel, so wird der Austrittswinkel $\sim 78^0\,30'$ sein, und der Winkel, in dem sich der Strahl nach der Ablenkung des Spiegels befinden wird, wird $\sim 11^0\,30'$ sein. Auf eine Entfernung von 1 m wird er auf der Skala eine Verschiebung des Lichtflecks in den Grenzen von · 200 mm anzeigen. Bei der Aufstellung zweier nacheinander folgender Gläser, von denen das eine auf 1^0 und das andere auf $\frac{1}{2}^0$ in Richtung der Verkleinerung des Grenzwinkels gewendet ist, erhalten wir eine Anfangsverstärkung

$$2 \cdot 5{,}7 \cdot 8{,}2 = 93\,.$$

Die volle Strahlenablenkung wird $93\,\alpha_0$ sein, wo α_0 den Drehwinkel des Spiegels bedeutet.

Bei praktischer Ausführung des Apparates müßte man das auf den Spiegel fallende Strahlenbündel etwas verjüngt führen, um bei der Brechung das Verschwimmen des

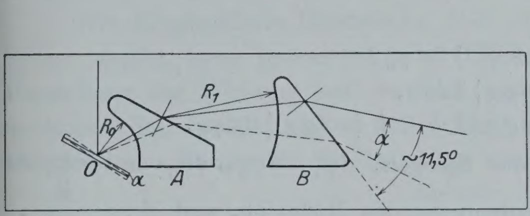


Abb. 5.

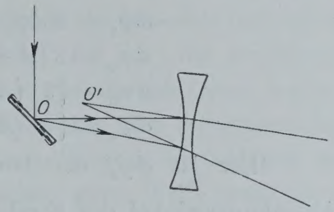


Abb. 6.

Strahlenbündels zu vermeiden; es muß monochromatisches Licht, am bequemsten gelbes Licht, genommen werden.

Außer der angegebenen Methode kann man auch die Strahlenbrechung so anwenden, daß der eintretende Strahl nach seinem Richtungswechsel andere Bedingungen vorfindet als bei seiner früheren (unveränderten) Richtung. Ohne näher auf die Einzelheiten einzugehen, bemerke ich nur, daß als solch ein System z. B. eine Bi-Konkavlinse dienen könnte. (Siehe Abb. 6.) Da solch ein Glas die Lichtquelle annähert, indem es dieselbe aus O in O' überträgt, so wird es entsprechend auch die Ablenkung vergrößern.

Die Reflexion.

Die Konstruktion eines Multiplikators, der mit Hilfe der Lichtreflexion arbeitet, ist etwas bequemer und einfacher. Läßt man den Strahl von irgend einer zylindrischen Oberfläche reflektieren, so erhalten wir verschiedene Ablenkungen des reflektierten Strahles. Diese Ablenkungen hängen von dem Winkel ab, den der Strahl mit der tangierenden Fläche im Reflexionspunkt des Strahles bildet. Nehmen wir an, daß der anfangs reflektierte Strahl unter einem Winkel ϑ verlief. Nachdem der einfallende Strahl sich um den Winkel $d\varphi$ ablenkte, lenkt sich der reflektierte Strahl um den Winkel $d\vartheta$ ab. Aus Abb. 7 ergibt sich, wenn wir den Bogen als Sehne annehmen, die mit der Tangente im Einfallspunkte des Strahles zusammenfällt, daß

$$r\,d\alpha \sin\chi = R\,d\varphi\,.$$

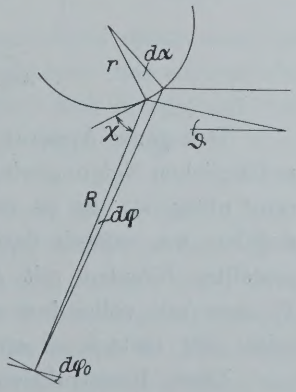


Abb. 7.

Da $d\vartheta = 2\,(d\varphi + d\alpha)$ ist, so erhalten wir endgültig

$$d\vartheta = 2\left(1 + \frac{R}{r \sin\chi}\right) d\varphi\,.$$

Wenn man annimmt, daß

$$R / r = 10\,, \quad \sin\chi = \tfrac{1}{2}$$

und man $d\vartheta$ auf den Ablenkungswinkel des Spiegels $d\varphi_0 = \frac{d\varphi}{2}$ bezieht, so erhalten wir

$$\frac{d\vartheta}{d\varphi_0} = 4\left(1 + \frac{10}{\frac{1}{2}}\right) = 84\,.$$

Es ist zu bemerken, daß die Größe $R/r = 10$ verhältnismäßig nicht zu hoch genommen ist; sie kann bei Anwendung eines Zylinders wesentlich vergrößert werden. An Stelle eines gewöhnlichen Zylinders kann auch ein System von zylindrischen Oberflächen angewandt werden, wie das die Abb. 8 zeigt. Nehmen wir der Einfachheit halber an, daß die Entfernung zwischen allen reflektierenden Zylindern gleich ist und daß die Winkel, unter denen der Strahl anfänglich auf jede zylindrische Oberfläche fällt, dieselbe Größe haben und gleich χ sind, so erhalten wir für den Ablenkungswinkel nach jeder Reflexion folgende Formeln, die für kleinere Winkel gelten:

$$\begin{aligned} d\varphi_1 &= 2\,d\varphi_0, \\ d\varphi_2 &= 2\,(A+1)\,d\varphi_1 = 2\,(A+1)\,2\,d\varphi_0, \\ d\varphi_3 &= \{2^2\,(A+1)^2 + 2\,A\operatorname{ctg}\chi\}\,2\,d\varphi_0, \\ d\varphi_4 &= \{2^3\,(A+1)^3 + 2\,A\operatorname{ctg}\chi\,(2 + 2\,A + \operatorname{ctg}\chi)\}\,2\,d\varphi_0. \end{aligned}$$

Hier ist $d\varphi_0$ der Drehungswinkel des Spiegels, $d\varphi_1$, $d\varphi_2$, $d\varphi_3$ und $d\varphi_4$ der Ablenkungswinkel des Strahles nach der entsprechenden Reflexion, und $A = \frac{R}{r\sin\chi}$.

Nehmen wir wie oben als Beispiel an, daß $R/r = 10$ und $\sin\chi = \frac{1}{2}$ ist, so erhalten wir für $d\varphi_0 = 1{,}0''$

$$\begin{aligned} d\varphi_1 &= 2\,d\varphi_0 = 2'',0 \\ d\varphi_2 &= 84\,d\varphi_0 = 4',2 \\ d\varphi_3 &= \sim 1800\,d\varphi_0 = 0{,}5^0 \\ d\varphi_4 &= 160000\,d\varphi_0 = 44{,}5^0 \end{aligned}$$

Mit Hilfe dieser Größen finden wir, daß wir in der Entfernung von 1 m vom letzten Zylinder Ablenkungen entsprechend 0,01 mm, 1,16 mm, 88 mm und endlich von 983 mm erhalten.

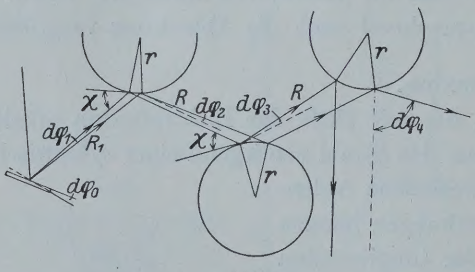


Abb. 8.

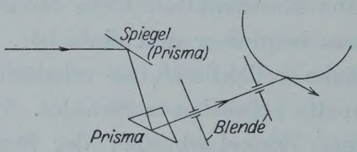


Abb. 9.

Der ganze Apparat muss fest montiert werden, was sowohl zur Beibehaltung der anfänglichen Neigungswinkel χ als auch zur Erhaltung der Beständigkeit der Vergrößerung nötig ist. Es ist nur wichtig, die erste richtige Winkelneigung des Strahles χ zu erzielen, was mittels flacher auswechselbarer, auf dem Wege des ersten Strahles aufgestellter Blenden mit schmalem Spalt und mittels zweier drehbarer Spiegel oder Prismen mit voller innerer Reflexion, die so aufgestellt sind, wie das Abb. 9 schematisch zeigt, sehr einfach zu erreichen ist.

Diese Konstruktion des Multiplikators gibt die Möglichkeit, ihn zu einem besonderen Apparat auszubilden, der von dem Instrument mit beweglichem Spiegel unabhängig ist.

Um das Verschwimmen des Lichtspiegels zu vermeiden, muß das auf die zylindrische Oberfläche fallende Strahlenbündel konvergent sein.

Bei kleinen Zylinderhalbmessern ist die Anwendung zylindrischer Linsen unbedingt erforderlich, die die streuende Wirkung der Zylinder ausgleichen.

Graphische Darstellung der Arbeit der Apparate.

Der Hauptnachteil der beschriebenen Apparate ist der Umstand, daß die Ablenkungen des Lichtfleckes dem Drehwinkel des Spiegels nicht proportional sind. Wenn bei den genauen Ablesungen nach der Poggendorffschen Methode nur eine Korrektur am Winkel angebracht werden muß (da die Skala statt auf dem Kreisbogen auf einer Geraden abgetragen wird), müssen in unserem Falle noch ergänzende Korrekturen gemacht werden. Diese Korrekturen können an Hand der graphischen Darstellung des Verhältnises zwischen dem Drehwinkel und der Ablenkung des Lichtfleckes ermittelt werden. Bei Anwendung von Zylindern werden die Ablenkungen hauptsächlich vom Cosecans des Einfallswinkels und seiner Potenz abhängen.

Wie die graphische Darstellung (Abb. 10) zeigt, die die Größe des Cosecans und seiner Potenz angibt, kann immer solch ein Winkel gewählt werden, bei dem die graphische Darstellung der Wirkung fast gradlinig ist. Betrachtet man die Aufgabe vom mathematischen Standpunkt aus, so ist es nicht schwer, eine Gleichung der reflektierenden Oberfläche zu finden, die für beliebige Verstärkung graphisch linearen Verlauf mit beliebiger Neigung zur Achse gibt. Vom praktischen Standpunkt aus kommt dieser Lösung keine besondere Bedeutung zu, da die Herstellung solcher Oberflächen eine sehr schwierige Aufgabe wäre. In dieser Beziehung ist die Herstellung von polierten Spiegelzylindern viel einfacher. Zum Schluß ist zu bemerken, daß besonders zuverlässige Ablesungen bei Anwendung der Multiplikatoren bei Vibrationsapparaten ausgeführt werden können. Die Konstruktion des Apparates kann dabei derart sein, daß die Ortsveränderung des Lichtfleckes bei verschiedenen Ablenkungen des eintretenden Strahles konstant bleibt. Es wird nur die Entfernung zwischen dem Spiegel und dem ersten Zylinder wechseln. Diese Entfernung (richtiger gesagt: deren reziproker Wert) dient dann als Maß der Spiegeldrehung des Meßapparates.

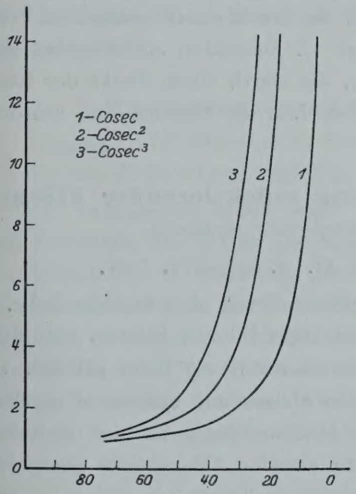


Abb. 10.

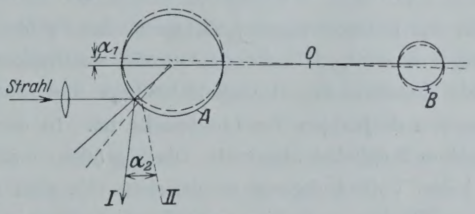


Abb. 11.

Eine Variation des Multiplikators kann noch bequem nach der in Abb. 11 dargestellten Methode ausgeführt werden. Hier ist O der Fadenquerschnitt der Aufhängung des Messapparates. Dieser Faden trägt nicht den üblichen Spiegel, sondern einen Hebel mit einem (Halb-) Zylinder A, der durch das Gegengewicht B ausbalanciert ist. Bei einer Drehung der Suspension um einen Winkel α_1 geht der zuerst in Richtung I reflektierte Lichtstrahl in Richtung II, indem er mit der früheren Richtung zusammen einen Winkel α_2 ergibt, der viel größer ist als der Winkel α_1. Je kleiner der Halbmesser r ist, desto größer ist der Winkel α_2, aber desto schwerer ist es, den streuenden Effekt des zylindrischen Spiegels zu beseitigen.

Moskau, Staatliches Elektrotechnisches Versuchsinstitut.

Referate.

Die Gesetze erster Ordnung in optischen Systemen.

Von M. Herzberger. *Zeitschr. f. Physik* **45**. *S. 86—96. 1927.*

Die Arbeit beginnt mit einer Bestimmung der charakteristischen Größen erster Ordnung eines Strahlensystems. Letzteres ist in bezug auf alle Eigenschaften erster Ordnung gegeben, wenn man drei Größen kennt, z. B. die beiden Hauptkrümmungen des Strahlensystems und den Winkel, den eine feste Ebene (etwa die Meridianebene) mit dem ersten Hauptschnitt bildet. Man kann aber auch die Krümmungen in der Meridianebene und Sagittalebene und die Windung in der Meridianebene als Koordinaten nehmen. Beide Koordinatensysteme sind ineinander überführbar. Die Durchrechnung dieser charakteristischen Größen erster Ordnung durch ein optisches System führt auf die allgemeinen Sturmschen Formeln, die neu abgeleitet werden. Diese Formeln werden diskutiert und gezeigt, daß man nur in dem Falle, daß der Hauptstrahl die Achse eines Rotationssystems ist, die Nachbarstrahlen des Objekt- und Bildraums einander kollinear zuordnen kann und daß man nur in dem Falle, daß der Hauptstrahl in der Meridianebene eines Rotationssystems verläuft, eine solche Zuordnung wenigstens für Strahlen im Meridianschnitt, sowie für den Sagittalschnitt angeben kann. Schließlich wird Kritik an der Darstellung eines dünnen Normalensystems durch das Sturmsche Konoid geübt. Mehrere neue Tatsachen sprechen gegen die Verwendung dieses Bildes, so die folgenden beiden neuen Sätze, die bewiesen werden: 1. Schneiden alle Strahlen eines zweifach unendlichen Normalenbündels eine Gerade, so bilden alle Strahlen, die durch einen bestimmten Punkt dieser Geraden gehen, mit derselben einen konstanten Winkel. 2. Schneiden alle Strahlen eines endlichen Normalensystems eine Kurve, so bilden alle Strahlen, die durch einen Punkt der Kurve gehen, mit der Kurventangente im Durchstoßpunkt gleiche Winkel, d. h. die Strahlen sind um diese Kurve rotationssymetrisch angeordnet. *Flügge.*

Die Lichtstromverteilung eines Systems gegenseitig reflektierender Flächen.

(The light flux distribution of a system of interreflecting surfaces.)

Von Ziro Yamauti. *Journ. Opt. Soc. of America* **13**. *S. 561—571. 1927.*

In der Beleuchtungstechnik spielt das Problem der Innenbeleuchtung eine wichtige Rolle. Es steht außer Zweifel, daß die gegenseitig stattfindende Reflexion verschiedener Flächen eine überraschende Zunahme der Helligkeit bedingt und daß die Lichtstromverteilung dann gänzlich verschieden von derjenigen der Lichtquelle ist. In der vorliegenden Abhandlung untersucht der Verf. das Problem möglichst allgemein. Ohne größere mathematische Abschweifungen ist hier im Referat jedoch keine Vollständigkeit zu erzielen. Es wird der auf jede einzelne Fläche eines ganzen Systems von Flächen endgültig auftreffende Lichtstrom in seine einzelnen Teilströme zerlegt, je nach der Herkunft derselben. Dabei ergeben sich gewisse Beziehungen der Teilströme untereinander. Die allgemeineren Betrachtungen werden alsdann spezialisiert und wichtige, teilweise bereits bekannnte Tatsachen aufgedeckt. Solche Sätze sind z. B. die folgenden:

In einer geschlossenen Fläche ist die Summe der absorbierten Lichtströme gleich dem von den Lichtquellen emittierten Gesamtstrom.

Die endgültige Lichtfülle einer Fläche infolge des anfänglich auf eine andere Fläche auffallenden Lichtstroms ist gleich der endgültigen Lichtfülle der zweiten Fläche infolge des anfänglich auf erstere auffallenden Lichtstroms, wenn die Flächen ideal diffus reflektieren.

Der endgültig auf eine Fläche auffallende Lichtstrom infolge des auf eine andere Fläche auftreffenden Lichtstroms ist gleich dem endgültig auf letztere Fläche auftreffenden Lichtstrom infolge des auf erstere gerichteten Stromes, wenn die Flächen wiederum ideal diffus reflektieren.

Der auf eine Fläche anfänglich auffallende Lichtstrom, welcher notwendig ist, um einen gewissen Betrag an endgültiger Lichtfülle auf einer anderen Fläche hervorzubringen, ist gleich dem anfänglich auf letztere auffallenden anfänglichen Lichtstrom, der notwendig ist, um denselben Betrag an Lichtfülle auf der ersten Fläche hervorzubringen, unter der Voraussetzung ideal diffus reflektierender Flächen.

Von letzterem Satz gilt sodann auch die Umkehrung. *Flügge.*

Asphärischer Vergrößerungskondensor.

(Aspheric enlarging condenser.)

Von L. V. Foster. *Journ. Opt. Soc. of America* **13**. *S. 631—634. 1926.*

Vorbedingung für das Gelingen von guten photographischen Vergrößerungen ist die absolut gleichmäßige Ausleuchtung des zu vergrößernden Negativs. Viele der in Vergrößerungseinrichtungen üblichen Kondensoren erfüllen aber, namentlich bei größeren Negativen, diese Aufgabe recht mangelhaft, weil sie nicht sphärisch korrigiert sind. Hier ist dringend Verwendung von asphärischen Kondensoren geboten. In einer entsprechenden Ausführung des Verf. wurde der gebräuchliche, aus zwei plankonvexen Linsen bestehende Kondensor durch zwei identische Linsen ersetzt, bei denen eine parabolische Fläche mit einer sphärischen kombiniert wurde, wodurch die sphärische Aberration in dem Maße behoben werden konnte, daß ein 14″ Kondensor vorzüglich die ganze Fläche eines Negativs von 8 mal 10″ ausleuchtete.

Einmal ergab sich das Bedürfnis, ein weitaus größeres Negativ zu vergrößern. Eine lithographische Anstalt wollte ein 8 mal 10″ Negativ auf 6 Fuß Höhe vergrößern, und hatte zur Vermeidung der Vergrößerung des Silberkorns eine Zwischenvergrößerung von 18″ hergestellt. Von diesem 18″ im Quadrat messenden Negativ sollte dann die endgültige Vergrößerung gemacht werden. Verf. konstruierte hierzu ein Kondensorsystem, bestehend aus zwei Hohlkondensoren, die mit Wasser gefüllt waren. Die inneren Flächen des Systems waren parabolisch. Der Durchmesser betrug 28 3/4″. Der Abstand der Bogenlampe war genau so groß wie der des Objektivs, und zwar 32″; die Dicken der beiden Einzellinsen betrugen 10 7/8″. Über die Verwendbarkeit wird nichts weiter mitgeteilt. *Flügge.*

Lichtstreuung und Sicht. Anwendung auf Scheinwerfer.

(Diffusion de la lumière et visibilité. Application aux projecteurs.)

Von Y. Roccard und Ph. de Rothschild. *Revue d'Opt.* **6**. *S. 353—363. 1927.*

In vorliegender Arbeit wird untersucht, wie die atmosphärische Streuung des Lichts die Sicht beeinflußt. Die diffuse Intensität wird mit dem verhältnismäßig leicht bestimmbaren Absorptionskoeffizienten in Beziehung gesetzt, und für die verschiedenen wichtigen Fälle kann man dann den Kontrast zwischen der Beleuchtung des Objekts und der diffusen Lichtmenge berechnen; oder theoretisch richtiger das Verhältnis, nach welchem das diffuse Licht den Kontrast zwischen zwei benachbarten Objekten modifiziert. Wenn man dann durch Beobachtungen den für die Sicht notwendigen minimalen Kontrast bestimmt, kann man ohne weiteres alle Sichtprobleme lösen und im voraus bestimmen, ob in solchem Fall die Sicht gut, schlecht oder gar Null ist. Die allgemeine Formel für den durch die Lichtstreuung modifizierten Kontrast ist folgende:

$$\frac{e+E}{e'+E} = \frac{A\,e^{-hs} + \frac{3}{8}\,\frac{1+\cos^2\theta+\varrho\sin^2\theta}{2+\varrho}\,(1-e^{-hs})}{A'\,e^{-hs} + \frac{3}{8}\,\frac{1+\cos^2\theta+\varrho\sin^2\theta}{2+\varrho}\,(1-e^{-hs})}\,.$$

Darin bedeuten: e und e' die Helligkeiten von Objekt und umgebendem Untergrund (e/e' wäre der Kontrast bei vollkommen klarer Sicht); E ist die überdeckende diffuse Intensität; die ersten Glieder in Zähler und Nenner sind die vom Auge empfundenen Helligkeiten von Objekt und Untergrund, modifiziert durch die Absorption auf der Luftstrecke s; h ist der Absorptionskoeffizient der Luft. ϱ ist die Depolarisation in der Luft (4 bis 5% bei völlig reiner und trockener Luft; 20 bis 30% in trüber Atmosphäre); θ ist der Winkel zwischen Beobachtungsrichtung und Beleuchtungsrichtung.

Diese allgemeineren Betrachtungen werden auf die Scheinwerferbeleuchtung angewandt, wobei sich manch interessantes Ergebnis herausstellt. So werden die einzelnen Bedingungen der Scheinwerferbeleuchtung untersucht, wie Divergenz des Lichtkegels, Entfernung des Beobachtungsstandes vom Lichtkegel usw. Es stellt sich nun heraus, daß eine experimentelle Bestimmung des nach obiger Formel definierten Kontrastes nicht ganz durchführbar ist; darum wird, allerdings weniger genau, der Kontrast definiert als das Verhältnis der Zielbeleuchtung zur diffusen Beleuchtung. Durch empirische Untersuchungen wird eine Beziehung der Sicht zu dieser Art Kontrast festgestellt, und zwar:

äußerste Grenze der Sicht: nötiger Kontrast $\geqq 0{,}5$
Grenze der Detailsicht: $\geqq 2$
gute, nicht mehr verbesserungsbedürftige Sicht: $\geqq 4$.

Bei der Behandlung dieser Probleme spielt der Purkinje-Effekt eine wichtige Rolle. So ergibt sich, daß die Sicht von Blau im Vergleich zum Rot ohne Schwierigkeit über 10mal größer sein kann, was in Anwendung auf die Scheinwerferbeleuchtung sehr wichtig sein kann.

Flügge.

Die Intensitätsverteilung in astigmatischen Bildern mit besonderer Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit von Prüftafeln bei der Refraktionsbestimmung.

(The distribution of light intensity in astigmatic images, with special reference to the sensitivity of test charts used in refraction.)

Von Jonas S. Friedenwald. *Journ. Opt. Soc. of America* ***13****. S. 621—629. 1926.*

Die Untersuchungen des Verf. bezwecken die Beantwortung folgender Fragen: Wie verteilt sich das von einem Objektpunkt ausgehende Licht in der Bildebene eines astigmatischen Auges? Wie bilden sich Objektivformen verschiedener Größe und Gestalt ab? Welche Objektform wird am schlechtesten zur Abbildung gebracht? Die Methode nach welcher Verf. verfährt, bestimmt die Natur der durch unvollkommene Akkomodation oder durch die chromatische Aberration des Auges verzerrten Bilder. In einem astigmatischen optischen System gehören zu jeder Objektebene zwei Bildebenen, wenn man sich auf Aberrationen höherer Ordnung nicht einläßt. Im Objekt lassen sich dann bekanntlich Liniengruppen auswählen, die in der einen oder anderen Bildebene gut wiedergegeben werden. Jeder Punkt des Objekts entspricht einem Linienelement in jeder der beiden Bildebenen. Es wird nun untersucht, wie das von einem Objektpunkt herkommende Licht entlang diesem Bildlinienelement ausgebreitet wird; und durch Integration über die Linienelemente werden die Bilder von verschiedenartigen Objektformen und Objektgrößen konstruiert. Hierbei beschränkt sich der Verf. auf die Bildkonstruktionen von einem punktförmigen Objekt, von der Kante eines gleichförmigen ausgedehnten Objekts und von einem linienförmigen Objekt.

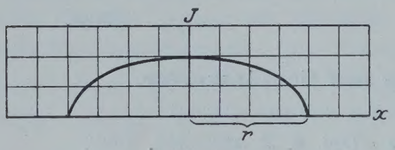


Abb. 1.

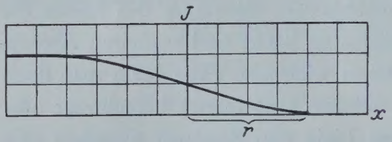


Abb. 2.

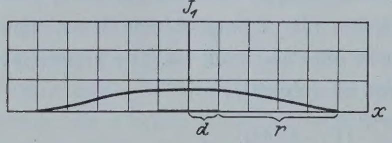


Abb. 3.

Eine einfache Rechnung zeigt, daß der Intensitätsverlauf in einem astigmatischen Linienelement, welches einem Objektpunkt konjugiert ist, durch die Abb. 1 darstellbar ist, oder analytisch gegeben ist durch

$$I = 2\,a\,H\sqrt{r^2 - x^2};$$

darin bedeuten: a eine geometrische Konstante, H eine photometrische Konstante, r die halbe Länge des Linienelements, x die laufende Koordinate.

Das entsprechende astigmatische Bild einer Kante (im Sagittalschnitt) hat eine Intensitätsverteilung, wie sie in Abb. 2 dargestellt ist, analytisch berechnet aus $J = \int_x^r I\,dx$, d. h.

$$J = 2\,a\,H\left[\frac{r^2}{4} - \frac{x}{2}\sqrt{r^2 - x^2} - \frac{r^2}{2\cdot\sin\frac{x}{r}}\right].$$

Schließlich ergibt sich für eine Linie von der halben Breite d die Intensitätsverteilung der Abb. 3, berechnet aus

$$J_1 = \int_{x-d}^{x+d} I\,dx,$$

oder

$$J_1 = 2aH\left[\frac{x+d}{2}r^2 - (x+d)^2 + \frac{r^2}{2\cdot\sin\frac{x+a}{r}} - \frac{x-d}{2}r^2 - (x-d)^2 - \frac{r^2}{2\cdot\sin\frac{x-d}{r}}\right].$$

Für sehr schmale Linien (d sehr klein) vereinfacht sich dieser Ausdruck zu

$$J_2 = 2\,a\,d\,H\sqrt{r^2 - x^2}.$$

An Hand dieser grundlegenden Betrachtungen wird die Verwendbarkeit von verschiedenen Prüftafeln für subjektive Messung von Astigmatismus des Auges überprüft, und zwar von der Tafel nach Lancaster (sonnenstrahlenförmig angeordnete einfache gerade Linien gleicher Länge, schwarz auf weißem Untergrund), der Tafel nach Wallace (dreifache Linien in derselben Anordnung) und von der Tafel nach Friedenwald (einfache schwarze Linien mit helleren Kontrastgrenzen auf grauem Untergrund). Die Zweckmäßigkeit richtet sich nach der Sicherheit, mit der der Patient zwischen den scharfen und verwaschenen Linien unterscheiden kann. Das Ideal wäre, daß die unscharf erkannten Linien so stark verwaschen wären, daß sie vom Untergrund nicht mehr zu unterscheiden sind, während die scharf gesehenen Linien sich gut abheben. Praktisch kann man sich diesem Ideal nur annähern, und da scheint die Tafel nach Friedenwald am geeignetsten zu sein, da nach dem obigen Rechnungsverfahren die Intensitätsverteilung in der durch Astigmatismus verwaschenen Linie eine solche ist, daß sie abgesehen von geringen Details sich dem Untergrunde fast anpaßt. Dagegen ist die Tafel nach Lancaster sicher nicht geeignet, während die Tafel nach Wallace zwischen beiden steht. Photographische Aufnahmen mit einer astigmatischen Kameralinse (0,25 Dpt. Astigmatismus) bestätigen dies. *Flügge.*

Herstellung von starken Verkleinerungen.

Von E. Goldberg. *Zeitschr. f. techn. Physik* 7. *S. 500—505. 1926.*

Vorbedingung für die Herstellung brauchbarer Verkleinerungen auf photographischem Wege ist die Verwendung von feinstkörnigen bis kornlosen Emulsionen. Dem Verf. ist vor längerer Zeit bereits Erfolg in der Lösung dieses Problems beschieden gewesen und zwar in einer Weise, daß die untere Grenze der starken Verkleinerungen nicht mehr durch die photographische Schicht sondern durch das zur Aufnahme benutzte Mikroskop vorgeschrieben ist. Verf. bedient sich hierzu einer Auskopieremulsion, die zwar relativ unempfindlich ist, aber darum die Ausführung der Verkleinerungen nicht beeinträchtigt, da ja die Helligkeit proportional dem Quadrat der linearen Verkleinerung ist. Wenn man also einen Gegenstand von 10 cm auf 0,1 mm verkleinert, so ist die Beleuchtung auf der empfindlichen Schicht 10000 mal stärker als dem Original. Mit Hilfe der im Nachfolgenden beschriebenen Methode ist es nun gelungen, Verkleinerungen

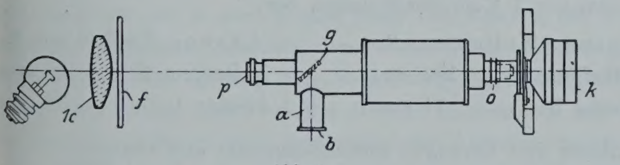


Abb. 1.

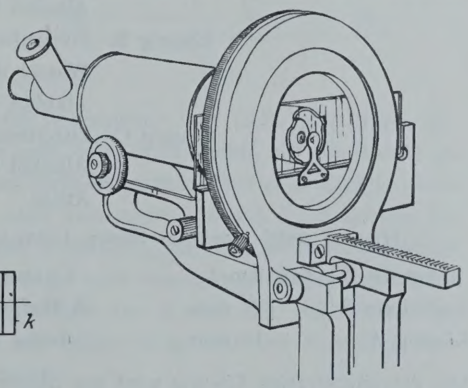


Abb. 2.

von Druckwerken herzustellen mit Schriftzügen von der Größe 0,001 bis 0,002 mm, so daß 50 Zeilen einer normalen Buchseite lesbar auf eine Fläche von 0,01 mm² abgebildet werden können.

Die Grundlage des Verfahrens bildet eine umgekehrte mikrophotographische Einrichtung von großer optischer Leistungsfähigkeit. Die Hauptschwierigkeit bestand in der Durchführung der Einstellung auf größte Schärfe der mikroskopischen Abbildung. Es hat sich die Ausarbeitung einer kleinen Zusatzeinrichtung für das Mikroskop notwendig gemacht.

Als Grundlage der optischen Ausrüstung dient ein auf einer optischen Bank erschütterungsfrei aufgestelltes großes Zeiss-Mikroskop. In Abb. 1 ist o das Objektiv, bestehend aus einem Apo-

chromat 4 mm, dem zur Abblendung von Resten sphärischer Aberration eine kleine Irisblende dicht über der letzten Linse beigefügt ist. Da es besser ist, die photographische Emulsion ungedeckt zu benutzen, muß der Apochromat zum Gebrauch ohne Deckglas korrigiert sein, wie sie für metallographische Zwecke im Handel sind. Immersionssysteme sind von vornherein auszuschließen, da die photographische Schicht mit Luft in Berührung sein muß, will man beste Schärfe erhalten.

Als Projektionsokular *p* wurde das Projektionsokular 2 von Carl Zeiss benutzt.

Die Autokollimationseinrichtung *a* besteht aus einer 3 mm dicken planparallelen ovalen Glasplatte *g*, die nahe dem Projektionsokular in den Strahlengang gestellt ist und eine Beobachtung der photographischen Emulsion durch das seitliche Okular *b* gestattet. Die Glasplatte *g* muß absolut schlierenfrei sein, geringe Abweichung von der Planparallelität schadet weniger.

Von größter Bedeutung ist die Beleuchtungseinrichtung. Von vornherein aussichtslos ist die starke Verkleinerung undurchsichtiger Objekte. Als Original muß unter allen Umständen ein Negativ oder Diapositiv genommen werden. Die Lichtquelle besteht in einer kleinen 30 Watt, 6 Voltlampe mit einem spiralig gewundenen Faden. Die Lampe ist etwas schief zur optischen Achse gestellt, damit die Eintrittspupille der mikroskopischen Einrichtung (entsprechend der Austrittspupille des gewöhnlichen Mikroskops, also dicht über *p*) auch dann voll mit Licht ausgefüllt ist, wenn die Spirale des Fadens nicht eng genug gewunden ist, Sehr geeignet ist auch eine Wolframbogenlampe von Philips. Als Kondensor wurde die asphärische Linse 1 *C* von Carl Zeiss benutzt, deren weniger gekrümmte Seite der Lichtquelle zugekehrt ist. Mit diesem Kondensor konnten noch Originaldiapositive von 40 mm Durchmesser verkleinert werden.

Um die Entstehung des Bildes zur Vermeidung von Belichtungsfehlern beobachten zu können, st die bereits beschriebene Autokollimationseinrichtung *a* in Verbindung mit einem normalen Kondensor *K* und einer Beleuchtungsvorrichtung unterhalb des Mikroskoptisches angebracht worden. Das photographische Bild wird dann bei Abschattung des Projektionsokulars im Autokollimationsokular sichtbar. Natürlich ist als Lichtschutz für die Schicht zwischen Abbeschem Kondensor und Lichtquelle ein orange Lichtfilter anzubringen.

Als photographische Schicht wird ein feines Häutchen von einer Chlorsilber-Kollodium-Emulsion verwendet. Das Rezept für die Emulsion ist folgendes:

Lösung A.	Lithiumchlorid ($LiCl + 5\,H_2O$)	5 g
	Wasser dest.	20 ccm
	Alkohol 96%	70 ccm
Lösung B.	Silbernitrat	24 g
	Wasser dest.	30 ccm
	Alkohol 96%	60 ccm
Lösung C.	Zitronensäure	12 g
	Alkohol 96%	50 ccm
	Äther	50 ccm.

Hierauf stellt man von diesen Lösungen 3 Kollodiumlösungen her:

Lösung Kollodium 1.		Lösung Kollodium 2.		Lösung Kollodium 3.	
Kollodium 2%	100 ccm	Kollodium 2%	100 ccm	Kollodium 2%	100 ccm
Lösung A	14 ccm	Lösung B	14 ccm	Lösung C	14 ccm

Die gebrauchsfertige Lösung wird aus diesen drei Lösungen zusammengesetzt und zwar:

Lösung Kollodium 1	3 ccm
Lösung Kollodium 3	3 ccm
Lösung Kollodium 2	4 ccm.

Diese längere Zeit haltbare Emulsion wird in der bekannten Weise auf Glasplatten gegossen, welch letztere die Größe von mikroskopischen Objektträgern haben.

Die Scharfstellung des Bildes wird unter ständiger Beobachtung durch das Autokollimationsokular vorgenommen.

Die Belichtungszeit beträgt durchschnittlich 10 Sek. Häufig ist noch die Verwendung eines dunklen Gelbfilters von Vorteil.

Nach der Aufnahme wird ein Tropfen gewöhnliches Tonfixierbad auf die Stelle der Verkleinerung gebracht. Nach erfolgtem Tonen wird die Platte kurz gewässert, getrocknet und mit einem mit Kanadabalsam aufgekitteten Deckglas versehen.

Bei Bedarf kann man unter geeigneten Maßnahmen das Kollodiumhäutchen abheben.

Mit der beschriebenen Einrichtung lassen sich Verkleinerungen bis zu 0,001 mm Linienabstand herstellen. Bei Verkleinerungen von 0,2 bis 0,5 mm Durchmesser verwendet man die gleiche optische Ausrüstung mit einem 16 mm Apochromat. Bei noch schwächeren Verkleinerungen von 0,5 mm an benutzt man ein kurzbrennweitiges photographisches Objektiv, etwa das Mikroplanar von 2 cm Brennweite, läßt dann aber Projektionsokular und Autokollimationseinrichtung fort. Noch schwächere Verkleinerungen von etwa 2 mm Durchmesser an werden mit einem Mikroplanar von 5 cm Brennweite hergestellt. Die Lichtquelle ist dann aber stärker zu wählen, etwa eine 4 Amp. Bogenlampe. *Flügge.*

Eine Methode zur Erzeugung von Lichtblitzen gleichmäßiger Intensität und kurzer Dauer.

(*A method of obtaining light flashes of uniform intensity and short duration*).

Von J. W. Beams. *Journ. Opt. Soc. of America* **13**. *S. 597—600. 1926.*

Häufig ist es nötig, Lichtquellen zu benutzen, die sehr plötzlich aufleuchten, nur ganz kurze Zeit (10^{-9} bis 10^{-7} Sek. bei Fluoreszenzuntersuchungen) leuchten und ebenso plötzlich wieder erlöschen. Für solche Zwecke ist vom Verf. der vorliegenden Abhandlung eine Anordnung ersonnen worden, die den gestellten Anforderungen genügen soll.

Ein elektro-optischer Verschluß ist bereits an anderer Stelle vom gleichen Verf. beschrieben worden. Seine Konstruktion geht aus Abb. 1 hervor. K ist eine „Kerrzelle“, bestehend aus zwei parallelen Metallplatten, die in Schwefelkohlenstoff eintauchen. N_1 und N_2 sind gekreuzte Nicols, deren Diagonalen unter 45° zu den Platten von K geneigt sind. Wird ein elektrisches Feld an

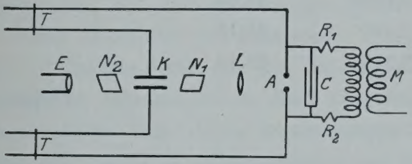


Abb. 1.

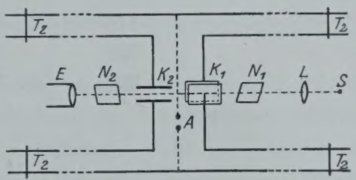


Abb. 2.

die Kerrzelle gelegt, so wird der Schwefelkohlenstoff doppelbrechend und Licht geht durch N_2. Wird jedoch das elektrische Feld an K aufgehoben, so geht kein Licht durch N_2. Es wurde gefunden, daß bei Vernichtung des Feldes in K durch einen Entladungsfunken bei A kein Licht durch N_2 hindurchging, wenn die Leitungen von A nach K sehr kurz waren. Durch Verlängerung der Leitungsdrähte von A nach K ging Licht vom Funken bei A durch N_2. $N_1 K N_2$ ist dann tatsächlich ein elektro-optischer Verschluß, dessen Schließung beschleunigt oder verzögert werden konnte durch symmetrische Verlängerung oder Verkürzung der Leitungsdrähte von A nach K. Bei diesem Verschluß aber dringt das Feld bei K nur langsam ein und darum öffnet sich der Verschluß auch nur langsam, während seine Schließung sehr plötzlich erfolgt.

In der jetzigen Anordnung ist S eine gleichförmig brennende Lichtquelle (Abb. 2). N_1 und N_2 sind gekreuzte Nicolsche Prismen, deren Diagonalen unter 45° zur Vertikalen stehen. K_1 und K_2 sind Kerrzellen von praktisch identischen Dimensionen (Plattenformat 12 mal 1 cm; Abstand der Platten 0,45 cm). Die Ebene der Platten von K_1 lag senkrecht, während diejenige von K_2 horizontal war. A ist eine Funkenstrecke, welche das elektrische Feld durch K_1 und K_2 beseitigt. Über A wird eine hohe Spannung (10000 Volt) angelegt. $T_2\,T_2$ und $T_2\,T_2$ sind Querdrähte, durch welche die Leitungsdrähte von A nach K_1 und von A nach K_2 verlängert oder verkürzt werden können. Wird über A langsam ein elektrisches Feld erzeugt, so sind die elektrischen Felder in K_1 und K_2 während der Aufladung gleich, und deshalb wird, wenn K_1 und K_2 identisch und rechtwinklig gekreuzt sind, die elektrische Doppelbrechung in K_1 gerade durch diejenige von K_2 kom-

pensiert, so daß von S nach N_2 kein Licht gelangen kann. Im Falle einer plötzlichen Entladung von K_1 und K_2 durch die Funkenstrecke A wird dann kein Licht durch N_2 gehen können, wenn die Zuleitungsdrähte von A nach K_1 gleich und symmetrisch denjenigen von A nach K_2 sind, d. h. die elektrische Doppelbrechung in K_1 wird zu jeder Zeit durch diejenige in K_2 kompensiert. Wird jedoch dafür gesorgt, daß durch Verlängerung der Leitungsdrähte von A nach K_2 die Entladung von K_2 einige Zeit nach derjenigen von K_1 erfolgt, so wird Licht durch N_2 gehen, d. h. N_1 K$_1$ K_2 N_2 wirkt als Lichtverschluß, der plötzlich freigegeben wird, eine beliebig lange Zeit von 10^{-9} bis 10^{-7} Sek. offen bleibt und dann plötzlich wieder den Lichtdurchgang abschneidet. *Flügge.*

Die optischen Konstanten von Molybdenit im Ultraviolett.

(The optical constants of molybdenite in the ultraviolet.)

Von Alfred W. Meyer. *Journ. Opt. Soc. of America* ***13***. *S. 557—560. 1926.*

An Molybdenitkristallen werden das Brechnungsverhältnis, der Absorptionskoeffizient und das Reflexionsvermögen für die Wellenlängen zwischen 500 und 330 $\mu\mu$ bestimmt. Die Beobachtungen wurden an dünnen Spaltflächen senkrecht zur optischen Achse ausgeführt. Die benutzte Apparatur war das Weldsche Kristelliptometer. Die Ergebnisse sind folgende:

Optische Konstanten von Molybdenit

Wellenlänge	Absorptions-koeffizient	Brechungs-index	Reflexions-vermögen
500 $\mu\mu$	0,341	5,668	52,97
470	0,468	4,999	55,09
450	0,581	4,675	56,75
430	0,657	4,500	58,03
410	0,812	4,002	59,71
390	0,888	3,853	55,04
370	0,963	3,209	52,93
350	0,982	2,640	47,13
330	1,001	2,217	42,10

Flügge.

Bücherbesprechungen.

Stumpff, Karl, Analyse periodischer Vorgänge. Ein Abriß der Periodographie mit besonderer Berücksichtigung moderner Methoden. Sammlung geophysikalischer Schriften, herausgegeben von Carl Mainka, Berlin. X, 188 S., 41 Figuren und 14 Tabellen im Text sowie 1 Volldrucktafel. 16×25 cm. Berlin 1927, Gebr. Bornträger. 14.40 RM.

Der Verfasser bringt eine recht vollständige Darstellung aller wichtigeren und neueren Methoden der harmonischen und unharmonischen Analyse und widmet der Periodogrammanalyse und den auf ihr gegründeten instrumentellen Verfahren zur Absonderung von Periodizitäten in Beobachtungsreihen einen besonders breiten Raum. Für ein Lehrbuch, das sich dieses Ziel setzt, bestand tatsächlich ein Bedürfnis, da die neuere, sehr umfangreiche und an vielen Orten zerstreute Literatur (seit etwa 1916) in einer zusammenfassenden Darstellung bisher nicht zugänglich war. Stumpff behandelt außer den erforderlichen mathematischen Grundbegriffen zunächt die harmonische Analyse d. i. die Zerlegung rein periodischer Vorgänge. Wir finden vorzügliche Abschnitte über die Fouriersche Reihenentwicklung, die trigonometrische Interpolation von Wertereihen, einige spezielle rechnerische (von C. Runge, Fischer-Hinnen, Houston-Kennelly, Pichelmayer-Schruttka, L. W. Pollak) und graphische (von W. Grix) Methoden und Behelfe zur Berechnung der Fourierkonstanten. Von den instrumentellen (mechanischen, elektromagnetischen, elektrooptischen, optischen) Verfahren zur Ermittlung der Fourierkonstanten schildert der Verfasser eine Auswahl der wichtigsten harmonischen Analysatoren und Methoden zur harmonischen Analyse, die namentlich in neuerer Zeit zur Abkürzung der sehr mühevollen Rechnungen geschaffen wurden, u. zw. den Präzisions

nalysator von Wiechert-Sommerfeld, den elektrischen Analysator von des Condres, den elektromagnetischen Analysator von L. W. Pollak und die Resonanzmethode von Pupin-Armagnat. tumpff behandelt weiter eine Reihe direkter und indirekter Verfahren zur Aufsuchung von Perioden, eren Anzahl und Länge unbekannt ist, darunter besonders ausführlich die jetzt so beliebte Schustersche 'eriodogrammanalyse mit ihren zum Teil von Stumpff selbst herrührenden wertvollen Erveiterungen.

Den Abschluß des Buches bildet die Beschreibung der instrumentellen Methoden zur Analyse usammengesetzter (quasi-) periodischer Vorgänge. Die harmonischen Analysatoren, die ja ursprüngch nur für die Untersuchung rein periodischer Funktionen ersonnen wurden, lassen sich zur 'eriodogrammanalyse nicht ohne weiteres verwenden. Es gehen die Bemühungen nun dahin, pparate zu konstruieren, die selbsttätig das Periodogramm, meistens photographisch, aufzeichnen. as Studium der vom Verfasser theoretisch und konstruktiv ausführlich beschriebenen Apparate 3alls Harfe, Galitzins elektrooptischer Analysator, der optische Periodograph von Douglass nd Stumpff) zeigt deutlich die Vorzüge der Stumpffschen Konstruktion. Wie einer schönen 'afel, welche Analysenergebnisse des Stumpffschen Apparates wiedergibt, entnommen werden ann, gelingt es tatsächlich aus der Feinstruktur der Spektren alles Erforderliche über die perioischen Eigenschaften der Beobachtungskurve herauszulesen. Über die Verwendung von Stroboskop nd Kinematograph zur Periodenbestimmung, die der Verfasser wieder vorschlägt, ist auf Grund er wenigen bisher vorliegenden Versuche noch kein abschließendes Urteil möglich.

Das reichhaltige und anregende Buch Stumpffs kann allen Interessenten wärmstens empfohlen verden. *L. W. Pollak-Prag.*

I. Graeser, Prüfung der Genauigkeit der topographischen Grundkarte 1 : 5000. 35 S. mit 5 Skizzen. Sonderheft 4 zu den *„Mitteilungen des Reichsamts für Landesaufnahme“.* 1926.

Die Güte eines zum Messen bestimmten Instruments kommt am anschaulichsten zum Ausruck in der Genauigkeit der mit ihm ausgeführten Messungen; das Ergebnis einer Prüfung wie er vorliegenden, auf Veranlassung des Reichsamts für Landesaufnahme vorgenommen, ist deshalb uch in dieser Zeitschrift von Interesse.

Die Aufnahme, auf die die Prüfung sich bezieht, wurde im Jahre 1925 vom Reichsamt in er Gegend von Elbingerode im Harz ausgeführt. Nach Schaffung der erforderlichen Grundlagen - in horizontalem Sinn durch trigonometrische und polygonometrische Punktbestimmung und in ertikalem Sinn durch Nivellementszüge und trigonometrische Höhenbestimmungen — erfolgte die igentliche Aufnahme — unter Mitbenutzung vorhandener, mit dem Pantographen übertragener Catasteraufnahmen — mit dem Meßtisch und der Kippregel im Maßstab 1 : 5000; dabei wurden Entfernungen über 120 bis 200 m nur in Ausnahmefällen gemessen“. Die Durchführung der Gelndedarstellung erfolgte im Gelände. Die Dichte der aufgenommenen Punkte entspricht in dem er Prüfung unterzogenen Gebiet einer Punktzahl von etwa 500—600 auf 1 qkm. Die zur Aufnahme on 1 qkm erforderliche Arbeitszeit (Sonn- und Reisetage eingerechnet) betrug im Durchschnitt ınd 14 Tage.

Die für die Prüfung der Aufnahme ausgeführten Messungen wurden in horizontalem und ertikalem Sinn derart durchgeführt, daß ihre Ergebnisse im Vergleich zu der zu prüfenden Aufahme als fehlerfrei angesehen werden können, so daß also die Abweichungen der aus der Aufnahme ntnommenen Werte als wahre Fehler anzusprechen sind. Die Prüfung geschah im Grundgedanken nit Hilfe von fünf, je 1 bis 2 km langen Polygonzügen, von deren Eckpunkten aus die für die 'rüfung benützten Punkte durch Polarkoordinaten festgelegt wurden. Auf diese Weise wurden im anzen 300 Punkte festgelegt, von denen 99 mit dem Meßtisch bestimmt und bei der Prüfung mit icherheit wiedergefunden wurden. Bei 26 Punkten handelte es sich nur um die Prüfung der Lage; 75 Punkte lagen beliebig im Gelände.

Bei der Untersuchung ergaben sich für die mittleren Lagefehler m_x und m_y und den mittleren Höhenfehler m_h die folgenden Werte:

1. Bei mit dem Meßtisch bestimmten und bei der Prüfung mit Sicherheit wiedergefundenen 'unkten.

A. Im freien Gelände:

$m_x = \pm 1{,}7$ m, $m_y = \pm 1{,}3$ m, $m_h = \pm 0{,}2$ m.

B. Im bewaldeten Gelände:

$m_x = \pm 1{,}4$ m, $m_y = \pm 1{,}9$ m, $m_h = \pm 0{,}2$ m.

2. Bei dem mit dem Meßtisch bestimmten und später der Lage nach wiedergefundenen Punkten.

A. Im freien Gelände:

$m_x = \pm 1{,}5$ m, $m_y = \pm 1{,}1$ m.

B. Im bewaldeten Gelände:

$m_x = \pm 1{,}3$ m, $m_y = \pm 1{,}6$ m.

Die 175 beliebig im Gelände liegenden Punkte wurden entsprechend der Geländeneigung in fünf Geländegruppen eingeteilt und je die mittlere Neigung $\mathrm{tg}\,\alpha$ und der mittlere Höhenfehler m_h bestimmt; dabei ergaben sich die Werte:

1. Gruppe:

$\mathrm{tg}\,\alpha = 0{,}025$, $m_h = \pm 0{,}18$ m

2. Gruppe:

$\mathrm{tg}\,\alpha = 0{,}052$, $m_h = \pm 0{,}24$ m

3. Gruppe:

$\mathrm{tg}\,\alpha = 0{,}084$, $m_h = \pm 0{,}25$ m

4. Gruppe:

$\mathrm{tg}\,\alpha = 0{,}118$, $m_h = \pm 0{,}44$ m

5. Gruppe:

$\mathrm{tg}\,\alpha = 0{,}201$, $m_h = \pm 0{,}33$ m

Damit erhält man an Hand der üblichen Formel $m_h = \pm (c + k\,\mathrm{tg}\,\alpha)$ für den mittleren Höhenfehler m_h die Gleichung

$$m_h = \pm (0{,}16 + 1{,}35\,\mathrm{tg}\,\alpha).$$

Vergleicht man diesen mittleren Fehler mit dem vom Beirat für das Vermessungswesen für die topographische Grundkarte 1 : 5000 festgesetzten Wert des mittleren Höhenfehlers[1]), nämlich

$$m_h = \pm (0{,}4 + 5\,\mathrm{tg}\,\alpha),$$

so zeigt sich, daß die vom Reichsamt für Landesaufnahmen mit dem Meßtisch und der Kippregel durchgeführte Aufnahme den gestellten Anforderungen bei weitem genügt. Trotz dieses überaus günstigen Ergebnisses der Prüfung würde ich für die Aufnahme von bewaldetem Gelände den Tachymetertheodolit empfehlen, so daß der Meßtisch nur in freiem, übersichtlichem Gelände verwendet würde. *P. W.*

W. v. Ignatowski, Die Vektoranalysis und ihre Anwendung in der theoretischen Physik. 3. Aufl. 8⁰. Bd. IX, 110 S. m. 27 Fig., Bd. II, IV, 123 S. m. 14 Fig. Leipzig und Berlin 1927, B. G. Teubner.

Die Vektoranalysis ist in den letzten zwei Jahrzehnten dem Physiker und Techniker zu einem fast unentbehrlichen Rüstzeug geworden. Unzweifelhaft hat die gediegene Einführung in diese, für die mathematische Behandlung von Fragen der reinen und angewandten Physik so natürliche Methode von Ignatowski (Ref. über die erste Auflage siehe *diese Zeitschr.* ***30.*** *S. 263. 1910*), die nunmehr in ihrer dritten Auflage vorliegt, wesentlich zu ihrer Einbürgerung beigetragen. Die bewährte Trennung der Entwicklung der Methode von den Anwendungsbeispielen in zwei Bändchen wurde beibehalten. Die Darstellung im ersten Bändchen hat durch einige neu eingeführte und neu definierte Begriffe, durch Vereinfachung einiger Ableitungen und kleinere Ergänzungen an Einheitlichkeit und Klarheit noch gewonnen. Das zweite Bändchen brauchte hingegen nur unwesentliche Änderungen zu erfahren. *W. Keil.*

[1]) Die vom Beirat festgesetzte Fehlergrenze ist $m_{\max} = \pm (1{,}0 + 15\,\mathrm{tg}\,\alpha)$.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena, Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **Mai 1928.** Fünftes Heft.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1927.

(Fortsetzung von S. 166.)

Abteilung II.

Unterabteilung IIa.

81. Widerstand von Metallen im Temperaturgebiet des flüssigen Heliums[1]).

Es wurde in Ergänzung der früheren Messungen der Widerstand von Kupfereinkristallen und Eisenkristallen, die jedoch nicht völlig einheitlich waren, sowie von gezogenen Eisendrähten im Temperaturgebiet des flüssigen Heliums sowie bei höheren Temperaturen gemessen. Keine der untersuchten Proben wurde supraleitend. Die Widerstandswerte für die Kupfereinkristalle, die bei höheren Temperaturen schon früher auch von den Herren Grüneisen und Goens gemessen wurden, sind folgende:

He-Dampfdruck in mm Hg	abs. Temperatur	$R : R_0$ für	
		Cu-Johnsen	Cu-Schott
	273,20	1	1
	82,20		0,148
	81,63	0,144	
	20,42	$7{,}8 \cdot 10^{-4}$	$8{,}6 \cdot 10^{-4}$
764	4,20	$2{,}9 \cdot 10^{-4}$	
756	4,18		$3{,}4 \cdot 10^{-4}$
46	2,42		$3{,}8 \cdot 10^{-4}$
17	1,97	$2{,}8 \cdot 10^{-4}$	
1,9	1,32	$2{,}9 \cdot 10^{-4}$	$3{,}5 \cdot 10^{-4}$

Die Widerstandsmessungen fanden eine längere Unterbrechung durch die Verlegung der Heliumverflüssigungsanlage in den Neubau des Kältelaboratoriums. Eine zusammenhängende Darstellung der vorliegenden Ergebnisse wurde ausgearbeitet (Anhang 1, Nr. 59).

Weitere Messungen mit Hilfe von flüssigem Helium sind beim Bericht über das Kältelaboratorium angegeben.

82. Messungen über die Suszeptibität von Gasen[2]).

Es wurden bisher nur Vorarbeiten zum Studium verschiedener Meßmethoden ausgeführt.

83. Konzentration des atomaren Wasserstoffs in der Glimmentladung[3])

Die elektrische Entladung durch Wasserstoff spaltet die Wasserstoffmoleküle zum Teil in freie Atome auf. Die Messung der Atomkonzentration erfolgte nach folgendem Prinzip: Durch einen engen Glasspalt von einigen Hundertstel Millimeter Weite und einen dahinter liegenden metallischen Katalysator, der die Wasserstoffatome sofort zu Molekülen vereinigt, wird im Spalt ein Konzentrationsgefälle erzeugt. Ist die Spaltbreite klein gegen die freie Weglänge des Gases, so muß sich, ähnlich wie beim thermischen Molekulardruck nach Reynolds und Knudsen, als Gleichgewichts-

[1]) Meißner. [2]) Meißner, Adelsberger. [3]) Wrede.

bedingung vor und hinter dem Spalt eine Druckdifferenz einstellen. Als theoretische Grundlage dient folgendes:

Im stationären Gleichgewicht diffundieren in beiden Richtungen gleiche Gewichtsmengen jedoch bei verschiedenem Molekulargewicht und verschiedener Teilchenzahl durch den Spalt. Die hindurchdiffundierende Gewichtsmenge ist proportional dem Druck und der Wurzel aus dem Molekulargewicht und umgekehrt proportional der Wurzel aus der abs. Temperatur. Dann gilt, falls die freie Weglänge groß gegen die Dimensionen der Öffnung ist, und unter der Voraussetzung, daß die Partialdrucke sich additiv verhalten, für die Diffusion in beiden Richtungen folgende Gleichgewichtsbedingung:

$$\frac{p_0 \sqrt{M_2}}{\sqrt{T_0}} = \frac{p_1 \sqrt{M_1}}{\sqrt{T_E}} + \frac{p_2 \sqrt{M_2}}{\sqrt{T_E}},$$

wobei die Summe der Partialdrucke $p_1 + p_2 = p_E$ den Gesamtdruck auf der Entladungsseite bildet, wo die Temperatur T_E herrscht. p_0 und T_0 sind Druck und Temperatur auf der Seite des Katalysators, M_1 und M_2 Atom- und Molekulargewicht. Bei Elimination von p_2 folgt

$$\frac{p_1}{p_E} = \frac{1 - \frac{p_0}{p_E}\sqrt{\frac{T_E}{T_0}}}{1 - \sqrt{\frac{M_1}{M_2}}}$$

für das Verhältnis des Partialdruckes der Atome zum Gesamtdruck oder die Atomkonzentration. Ins Gewicht fallende Temperaturdifferenzen konnten durch Einbringen der ganzen Meßanordnung in ein Wasserbad bei nicht zu hohen Stromdichten ganz vermieden werden.

Die Messungen über die Abhängigkeit der Atomkonzentration von der Belastungsstromstärke ergaben mit einem Rohr von 25 mm Weite und etwa 3 m Länge in einem Druckbereich von 0,1 bis 0,2 mm Hg schon bei 0,1 bis 0,15 Amp. einen oberen Grenzwert. Mit Spalten von 0,02 mm wurden 90% Atome als obere Grenze gefunden, während bei 0,05 mm Spaltbreite nur 81% gemessen wurden. Dabei machte es keinen Unterschied, ob das Gas aus flüssigem Wasserstoff oder aus einem Kippschen Gasentwickler mit anschließender Reinigung gewonnen wurde. Bei 30 Milliamp. Gleichstrom, einer Belastung, bei der die Temperatur des Rohres außerhalb des Wasserbades noch kaum merklich anstieg, ergaben die gemessenen Druckdifferenzen schon 60% Atome.

Es ist zu erwarten, daß die angewendete Methode etwas zu kleine Werte für die Atomkonzentration gibt. Einerseits sind ja die Verhältnisse der molekularen Strömung nicht ideal erfüllt. Andererseits wirkt die Diffusion von H_2-Molekülen aus dem Spalt in den Entladungsraum hinein, die nach Messungen der molekularen Strömung im vorliegenden Fall etwa 10 bis 20 ccm/sec beträgt, erniedrigend auf die Atomkonzentration in der nächsten Umgebung des Spaltes. Diese Fehler werden um so kleiner, je enger der Spalt ist. Ein möglicher Fehler durch Rückdiffusion von Atomen durch den Spalt bei den ausgeführten Anordnungen scheint dagegen überhaupt ganz unerheblich zu sein. Für die Sicherheit der Methode spricht, daß bei nicht dissoziierten Gasen, z. B. bei Stickstoff, unter sonst identischen Bedingungen keine Druckdifferenzen erhalten werden konnten.

Die Methode bietet den besonderen Vorteil, daß sie in den Fällen, wo freie Wasserstoffatome für irgendwelche Zwecke von der Erzeugungsstelle fortgeleitet werden, ohne große Schwierigkeit angewandt werden kann. Zudem ist eine Genauigkeit von 10% immer leicht erreichbar.

Es sollen noch weitere Messungen an Stickstoff, sowie eventuell solche an Sauerstoff ausgeführt werden.

84. Untersuchungen an Metallkristallen[1]). *a) Thermische und elektrische Leitfähigkeit bei tiefen Temperaturen.*

Zur weiteren Prüfung der im letzten Tätigkeitsbericht auf Grund der damals vorliegenden Messungen abgeleiteten Beziehung zwischen dem Wärmewiderstand w eines regulär kristallisierenden Metalls und seinem elektrischen Widerstand ϱ

$$w = w_i + \frac{\varrho}{Z\,T} \qquad (T \text{ abs. Temperatur}) \qquad 1)$$

---

[1]) Grüneisen (bis 31. März), Goens.

wurde an einer ganzen Reihe weiterer Proben von Al, Au, Cu, Fe, Pt, W von unterschiedlichem Reinheitsgrad und Verfestigungszustand der elektrische und Wärmewiderstand bei —190 und —253° bestimmt. In Bestätigung der angegebenen Beziehung ordnen sich bei festgehaltener Temperatur die w-Werte der verschiedenen Proben eines Metalls, als Funktion der zugehörigen ϱ aufgetragen, im allgemeinen gut auf einer Geraden an, nur die stärker verunreinigten Proben zeigen systematische Abweichungen, und zwar um so mehr, je niedriger die Temperatur ist. Die aus der Neigung der Geraden abgeleiteten Z-Werte, die sich in verschiedenem Maße als temperaturabhängig erweisen, unterscheiden sich bei —253° durchweg nur wenig von der Wiedemann-Franz-Lorenzschen Zahl ($2{,}22 \times 10^{-8}$), auch bei solchen Metallen, wie Fe und Pt, bei denen in Zimmertemperatur wesentlich größere Z gefunden werden. Es liegt zunächst nahe, w_i als den von den Festkörpereigenschaften herrührenden, $\frac{\varrho}{Z\,T} = w_m$ als den durch die Elektronenleitung bedingten Anteil des gesamten Wärmewiderstandes anzusehen, doch ist bei solcher Deutung die Additivität beider Widerstände schwer verständlich. Zwischen w_i und $[w_m] = \frac{[\varrho]}{Z\,T}$ ($[\varrho]$ spez. Widerstand des ideal reinen, unverfestigten Metalls) wurde die empirische Beziehung

$$\frac{w_i}{[w_m]} = k\,\frac{\theta}{T} \qquad 2)$$

ermittelt, wo θ die charakteristische Temperatur des Metalls (nach Debye) und k ein im wesentlichen temperaturunabhängiger Faktor ist, der für die untersuchten Metalle zwischen $\frac{1}{4}$ und $\frac{1}{8}$ liegt. Aus 1) und 2) erhält man die Gleichung

$$\frac{\varrho}{w\,T} = \frac{Z}{1 + \frac{[\varrho]}{\varrho}\,k\,\frac{\theta}{T}},$$

die eine erweiterte Fassung des Wiedemann-Franz-Lorenzschen Gesetzes darstellt. Die Ergebnisse wurden veröffentlicht (Anhang 1, Nr. 75).

b) Thermische Leitfähigkeit von Zn- und Cd-Einkristallen.

In Ergänzung früherer[1]) Untersuchungen wurde an einem weiteren, ‖ zur hexagonalen Achse orientierten Zn-Kristall die thermische und elektrische Leitfähigkeit bei +18, —190, —253° bestimmt. Hierbei wurde durch besondere Vorkehrungen das Auftreten von Sprüngen während der Messungen, zu denen die Stäbe dieser Orientierung besonders neigen, zu vermeiden gesucht. Wesentliche Unterschiede gegenüber den früheren Resultaten ergaben sich indessen nicht.

Anschließend wurden Messungen zur exakteren Bestimmung der Korrektion, die infolge der Strahlungsverluste an den Wärmeleitungswerten bei Zimmertemperatur anzubringen ist, ausgeführt. Die im Tätigkeitsbericht 1925 mitgeteilten vorläufigen Zahlen für λ_0 ändern sich danach z. T. um einige Prozent.

Die Veröffentlichung der Ergebnisse wird demnächst erfolgen.

85. Temperaturkoeffizienten der elastischen Konstanten von Metallkristallen bei tiefen Temperaturen[2]).

In Fortsetzung der vor einigen Jahren begonnenen Untersuchung[3]) wurde die nachfolgend beschriebene Methode zur Bestimmung der Temperaturabhängigkeit des Elastizitäts- und Torsionsmoduls ausgearbeitet, die bis zu tiefsten Temperaturen brauchbar ist und die Temperaturkoeffizienten auf wenige Prozent genau zu bestimmen gestattet.

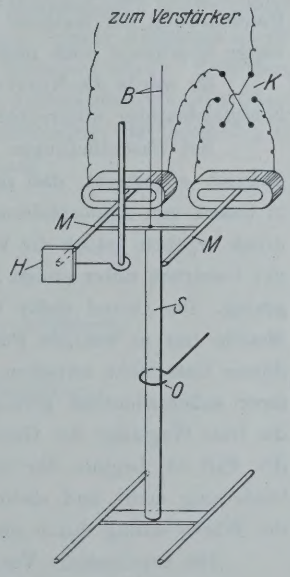


Abb. 2.

Auf die Enden des zu untersuchenden zylindrischen Kristallstabes S (vgl. nebenstehende perspektivische Abb. 2) sind zwei leichte, genau gleiche, H-förmige Zusatzmassen angelötet. Die Längsbalken der oberen bilden zwei Magnete M von möglichst gleicher Polstärke, die auf der einen Seite in zwei nebeneinanderliegende hochohmige Telephonspulen freischwebend eintauchen. In dieser Lage wird der Stab durch eine am oberen Ende angreifende, feindrähtige Bifilaraufhängung B getragen, eine ihn lose umschließende Halteöse O ver-

[1]) Tätigkeitsber. 1925, Nr. 28b. [2]) Goens. [3]) Tätigkeitsber. 1923, Nr. 37.

hindert stärkere Pendelungen. Durch einen leichten Schlag mit dem Hämmerchen *H* auf den gegenüberliegenden Magneten wird er gleichzeitig zu freien Torsions- und Transversalschwingungen erregt (der Einfluß der Aufhängung ist zu vernachlässigen), die vermittelst der Magnete Wechselspannungen in den Spulen induzieren. Je nach Art der Hintereinanderschaltung der Spulen, die durch den Kommutator *K* geändert werden kann, verstärken sich die Wechselspannungen einer Schwingungskategorie, während sich gleichzeitig die der anderen kompensieren. In Verbindung mit einem wirksamen Widerstandsverstärker mit Telephon konnten so die Stabschwingungen als gut hörbare, meist mehrere Sekunden andauernde Tonfrequenzen wahr genommen und durch Überlagerung mit dem Normaltonsender von Grüneisen und Merkel[1]) gemessen werden. Der in einer mit H_2-Gas gefüllten Hülle befindliche Apparat wurde durch Einsenken in ein Wasserbad bzw. in flüssigen N_2 und H_2 auf $+18$, -195 und -253^0 gebracht, wobei die Frequenzänderung jeder Schwingungsart messend verfolgt wurde. Die zur Auswertung der Messungen erforderliche Theorie der freien Schwingungen kreiszylindrischer Stäbe mit zusätzlichen Endmassen wurde entwickelt.

Von den bisher vorliegenden Ergebnissen sei mitgeteilt, daß für eine Reihe von Zn-Kristallstäben die prozentuale Zunahme des Torsionsmoduls zwischen $+18$ und -195^0 je nach der kristallographischen Orientierung 5 bis 7×10^{-4}/Grad, zwischen -195 und -253^0 etwa 4×10^{-4}/Grad beträgt. Die Absolutwerte der Torsionsmoduln bei $+18^0$ stimmen innerhalb der zu erwartenden Grenzen mit den von Grüneisen und Goens statisch gemessenen überein.

86. Verbrennungswärme der Benzoësäure[2]).

Nach zweimaliger Durchrechnung aller Beobachtungsdaten der Versuche über die elektrische Eichung des Berthelotschen Kalorimeters und die Verbrennungswärme der Benzoesäure, über die im vorigen Tätigkeitsberichte berichtet worden ist, wurde die Arbeit zur Veröffentlichung in der *Zeitschr. f. physikal. Chemie* fertiggestellt.

87. Untersuchungen über Gasentladungen[3]).

Die Untersuchungen kamen dadurch ins Stocken, daß die Mittel für die Verlegung eines Hochspannungskabels von der 5000-V-Maschine in das Laboratorium nicht verfügbar waren und gleichzeitig die Hochspannungsbatterie dauernd anderweitig belegt war. Sie konnten erst gegen Ende des Jahres wieder aufgenommen werden. Es wurden Versuche begonnen, den Zusammenhang zwischen Kathodenfall und Stromdichte der Glimmentladung an ebenen Kathoden in verschiedenen Gasen in Abhängigkeit von der Gasdichte festzustellen. Da bei sämtlichen bisherigen Versuchen über diese Vorgänge stets mit dem Gasdruck statt mit der Gasdichte gearbeitet und außerdem die Randwirkung der Kathode nicht berücksichtigt ist, liegen brauchbare Werte über diese Zusammenhänge überhaupt noch nicht vor (Anh. 1, Nr. 77 u. 78).

88. Untersuchung neuer Gleichrichtertypen[3]).

Es wurde die Kurvenform, der Wirkungsgrad und die Betriebssicherheit einiger neuer Glimmlichtgleichrichter untersucht.

89. Wärmeübertragung zwischen sich berührenden Metallen im Vakuum[3]).

Bei Gasentladungen wird häufig die Kühlung einer Elektrode, insbesondere der Kathode, dadurch angestrebt, daß sie auf eine gekühlte Metallfläche aufgelegt wird. Dieses Verfahren stellt in Gasen von Atmosphärendruck in der Tat eine sehr wirksame Kühlung dar. Bei geringem Gasdruck ergeben jedoch die Versuche, daß die Kühlwirkung stark mit dem Gasdruck abnimmt, sobald der Gasdruck unter einige Millimeter Quecksilber sinkt. Im Hochvakuum ist die Kühlwirkung sehr gering. Der Grund dafür liegt darin, daß eine unmittelbare Berührung der aufeinanderliegenden Metalle nur in wenigen Punkten vorhanden ist. An allen übrigen Punkten befindet sich eine sehr dünne Gasschicht zwischen ihnen, die trotz ihres geringen spezifischen Wärmeleitvermögens wegen ihrer außerordentlich geringen Dicke doch einen kräftigen Wärmefluß hindurchläßt, solange nicht die freie Weglänge der Gasmoleküle mit der Dicke der Gasschicht vergleichbar wird. Sobald dieses der Fall ist, beginnt der von Warburg entdeckte Temperatursprung den Wärmetransport durch Gasleitung mehr und mehr einzuschränken und schließlich völlig zu unterbinden, so daß lediglich die Wärmeleitnng durch die wenigen unmittelbar sich berührenden Punkte übrigbleibt.

90. Herstellung von Schutzschichten auf Aluminium[3]).

Die zunehmende Verwendung des Aluminiums und vor allem der Aluminiumlegierungen bei Konstruktionen, die den Witterungseinflüssen ausgesetzt sind, insbesondere im Flugzeugbau, macht die Frage nach einem wirksamen Schutzüberzug des Aluminiums immer dringender. Es wurde des-

---

[1]) Grüneisen und Merkel, *Zeitschr. f. Physik* **62**. *277. 1920.*

[2]) W. Jaeger und v. Steinwehr. [3]) Güntherschulze.

halb im letzten Jahre eine große Anzahl von Blechproben verschiedener Aluminiumlegierungen sowohl für das Materialprüfungsamt in Dahlem, als auch für die Versuchsanstalt für Luftfahrt in Berlin-Adlershof mit einer schützenden Oxydhaut überzogen und den beiden Anstalten zur Untersuchung der Wirksamkeit des Schutzes übersandt. Dabei wurde durch enge Zusammenarbeit mit der Versuchsanstalt für Luftfahrt eine wesentliche Verbesserung des Verfahrens erzielt.

Unterabteilung IIb.

A. Laboratorium für Grundeinheiten[1]).

91. Übersicht über die Prüfungsarbeiten[1]).

122 (169) Proben Leitungsmaterial,
5 (2) Proben Widerstandsmaterial,
87 (92) Einzelwiderstände,
49 (54) Widerstandsapparate einschl. Verzweigungswiderstände [1343 (1971) Abteilungen],
6 (2) Wasserproben,
195 (133) Internationale Westonelemente,
21 (14) Westonelemente mit bei 4^0 gesättigter Lösung,
2 (0) Clarkelemente.

Von den geprüften Einzelwiderständen waren 60 in Drahtform, 27 in Blechform. Unter den geprüften Widerstandsapparaten waren, soweit sich aus den Angaben der Prüfungsanträge ersehen ließ, 12 für Japan, 7 für Schweden, 6 für Dänemark, 4 für Holland und je 1 für Belgien und Österreich bestimmt.

Die Abweichungen vom Sollwert lagen bei den internationalen Westonelementen bei 178 Elementen unterhalb $\pm 1 \cdot 10^{-4}$ Volt, bei 11 Elementen zwischen ± 1 und $\pm 2 \cdot 10^{-4}$ Volt, bei 4 Elementen zwischen ± 2 und $\pm 5 \cdot 10^{-4}$ Volt, 2 Elemente zeigten noch größere Abweichungen.

Für verschiedene Laboratorien der Reichsanstalt wurden 2 Kompensatoren und 3 Widerstandskästen (mit 159 Abteilungen), 1 Wattmeter, 4 Nickelbandwiderstände, 3 Normalelemente und 1 Probe Leitungswasser untersucht.

B. Laboratorium für Wechselstromnormalien und Hochfrequenz[2]).

Die Prüftätigkeit im Laboratorium für Wechselstromnormalien und Hochfrequenz hat besonders auf dem Gebiete der Induktivitäts- und Kapazitätsmessungen gegen das Vorjahr wiederum so erheblich zugenommen, daß die wissenschaftliche Arbeit in hohem Grade behindert wurde. Besonders störend war auch der Umstand, daß ein wissenschaftlicher Beamter des Laboratoriums durch Übernahme der stark angewachsenen Arbeiten in der Verwaltung der Betriebsmittel der Abteilung II auf mehrere Monate für das Laboratorium fast vollständig in Fortfall kam.

187 (51) Induktivitäten von Spulen,
1192 (1139) Kapazitäten von Kondensatoren,
461 (286) Verlustwinkel von Kondensatoren,
0 (1) Kapazitätsmeßbrücken,
0 (24) Dielektrizitätskonstante und Verlustwinkel fester Isolatoren,
31 (4) Widerstände (einschl. Isolationsmessungen),
107 (42) Widerstände von Spulen bei Gleich- und Wechselstrom,
18 (20) Spulenkapazitäten,
474 (419) Wellenlängen,
29 (12) Quarzresonatoren,
1 (0) Stimmgabeln.

Für die Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:

1 (0) Induktivitäten von Spulen,
145 (63) Kapazitäten von Kondensatoren,
57 (0) Verlustwinkel von Kondensatoren,
2 (0) Widerstände.

---

[1]) v. Steinwehr, A. Schulze. [2]) Giebe, Zickner, Scheibe.

C. Röntgenlaboratorium[1].

85 (66) Dosismesser verschiedener Art,
0 (10) Röntgenschutzstoffe,
0 (3) Röntgenmaschinen.

Einige Dosismesser waren für andere Prüfstellen (Göttingen, Erlangen) bestimmt, welche die Reichsanstalt nach Möglichkeit entlasten sollen.

D. Gleichstromlaboratorium[2].

60 (71) Apparate zur Messung der Spannung und Stromstärke,
32 (50) „ „ „ „ Leistung,
50 (37) „ „ „ „ Arbeit (Elektrizitätszähler),
8 (72) Vor- und Nebenwiderstände,
3 (46) Sonstige Widerstände,
104 (53) Primärelemente,
6 (6) Akkumulatoren,
111 (0) Verschiedenes,
29 (25) Systemprüfungen von Gleich- und Wechselstromzählern,
4 (6) Vorprüfungen von Zählersystemen.

Für die einzelnen Laboratorien der Reichsanstalt wurden geprüft:
41 (49) Normalwiderstände, Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser.

E. Wechselstromlaboratorium[3].

I. Meßapparate.

14 (6) Spannungs- und Stromzeiger,
15 (15) Leistungszeiger,
66 (68) Elektrizitätszähler im Laboratorium,
22 (0) Elektrizitätszähler im Betriebe,
184 (246) Strom- und Spannungswandler,
3 (0) Frequenz- und Phasenmesser,
2 (8) Kompensationsapparate und Brücken,
1 (0) Hochspannungs-Transformatorenanlage.

II. Wechselstromgrößen.

15 (18) Zeitkonstanten von Widerständen,
65 (33) Kondensatoren für Hochspannung und Kondensatordurchführungen,
0 (0) Selbstinduktionsspulen.

III. Isolations- und Installationsmaterialsorten.

196 (157) Feste Isoliermaterialien,
3 (26) Isolatoren,
2 (7) Erdwachse und Vergußmassen,
37 (25) Öle,
73 (77) Kabel und isolierte Leitungen,
23 (23) Schalter, Steckvorrichtungen u. dgl.,
4 (8) Isolierüberzüge.

IV. Technische Apparate.

0 (11) Heizapparate,
56 (13) Kleintransformatoren und Relais,
6 (3) Feuerlöscher für Hochspannung,

---

[1]) Behnken, R. Jaeger. [2]) Schmidt, Scheld.
[3]) Schmidt (bis 31. März Schering), Engelhardt, Reichardt, R. Vieweg, Pfestorf (seit 1. Dezember).

1 (1) Fernhörer,
1 (4) Blitzschutzapparate,
7 (4) Verschiedenes.

Außerdem wurden 26 Benzinproben auf ihre Leitfähigkeit untersucht.

V. Systemprüfung an Meßwandlern.

0 (0) Stromwandler,
4 (1) Spannungswandler.

F. Maschinenlaboratorium[1]).

12 (10) Generatoren und Motoren,
0 (0) Transformatoren,
0 (0) Anlasser,
13 (5) Apparate,
5 (3) Abnahme von Maschinen und Transformatoren.

G. Magnetisches Laboratorium[2]).

40 (18) Proben Flußeisen, Gußeisen, Magnetstahl,
142 (146) Proben Dynamo- und Transformatorenblech,
20 (13) Permanente Magnete,
4 (0) Nickeleisendraht (hochprozentig),
2 (1) Magnetisierungsapparate nach Koepsel-Kath,
1 (0) Wismutspirale.

Von den Blechproben wurden 85 (79) wattmetrisch [227 (200) Verlustziffern], 51 (63) statisch untersucht. Sättigungswerte wurden an 1 (0) Probe, Anfangs- und reversible Permeabilitäten an 9 (4) Proben und spezifische Gewichte an 6 (0) Proben gemessen. Die Zahl der beschleunigten Prüfungen betrug 34 (20).

92. Referat für das elektrische Prüfwesen[3]). *a) Zulassung von Zählern und Meßwandlern.*

Es wurden zur Beglaubigung zugelassen:

Gleichstromzähler: 1 neues System, 2 Abänderungen bzw. Zusätze.

Zähler für ein- oder mehrphasigen Wechselstrom: 8 neue Systeme, 16 Abänderungen bzw. Zusätze.

Stromwandler: 1 neues System.

Spannungswandler: 1 neues System.

Die Zulassung zur Beglaubigung wurde in zwei Fällen (Elektrizitätszähler) abgelehnt.

b) Tätigkeit der Prüfämter.

Das Prüfamt 1 Ilmenau hat Einrichtungen für die Prüfung von Hochspannungszählern beschafft, sowie die vorhandenen Einrichtungen für die Prüfung von Gleichstromzählern und Niederspannungswechselstromzählern erweitert. Dementsprechend ist seine Prüfbefugnis auf die folgenden Meßbereiche ausgedehnt worden:

Stromart	Stromstärke	Spannung
Gleichstrom	1200 A	1000 V
Wechsel- u. Drehstrom:		
im Amte	1000 „	50000 „
am Betriebsorte . .	400 „	12000 „
	100 „	50000 „

Eine Übersicht über die Tätigkeit der elektrischen Prüfämter gibt die nachstehende Tabelle

[1]) V. Vieweg, Linckh, Kluge.
[2]) Steinhaus, Kußmann.
[3]) Schmidt, Scheld, Engelhardt.

Meßgeräte	Ilmenau	Hamburg	München	Nürnberg	Kaiserslautern	Frankfurt a. M.	Bremen	Königsberg i. Pr.
1. Zähler								
im ganzen eingereicht	6653[1]	567	28354	3810	31	12539	14453	1562
Davon gehören einem zur Beglaubigung zugelassenen System an	4808	535	15342	3532	30	12269	13263	1339
Bei der Einsendung hielten die Verkehrsfehlergrenzen nicht ein	1102	227	12607	87	—	59	190	31
Von den in Zeile 1 aufgeführten Zählern wurden								
a) mit dem Beglaubigungsstempel versehen	814	330	13095	3482	11	6440	13105	202
b) mit dem Verkehrsstempel versehen	5552	139	1922	155	19	5738	1335	140
c) wegen Unzulässigkeit der Bauart u. dgl. zurückgewiesen	191	40	449	1	1	—	—	24
d) wegen Überschreitung der Verkehrsfehlergrenzen zurückgewiesen	83	9	2606	11	—	353	—	19
e) nicht gestempelt, weil ohne Meßwandler, oder bei nur wenigen Punkten geprüft oder dergleichen	13	49	10282	161	—	8	13	1177
2. Tarifuhren, Zeitzähler und andere Tarifgeräte	17	3	18734	174	—	75	2857	3
3. Strom-, Spannungs- und Leistungsmesser und andere Meßgeräte	54	51	112	191	1	49	170	8
4. Elektrische Gebrauchsgegenstände	47	522	21	222	3	1	1	—
5. Isolations- und Installationsmaterial	—	150	192	—	—	—	264	—

93. Widerstandsnormale[2].

Infolge von Überlastung durch Prüfungsarbeiten und Heranziehung der Techniker zu den Vorbereitungen wissenschaftlicher Untersuchungen konnte die übliche Vergleichung der Manganinnormalen und der Anschluß der Gebrauchsnormalen an die Drahtwiderstandseinheit der Reichsanstalt in dem Berichtsjahr nicht ausgeführt werden. Diese Unterlassung unterliegt keinen Bedenken, da die Konstanz der fraglichen Widerstände erfahrungsgemäß eine ausgezeichnete ist.

Die Untersuchung über die 5 alten und die 5 neuen Ohmrohre ist in den *Abhandlungen der Reichsanstalt* veröffentlicht worden (Anh. 1, Nr. 85). Ein Auszug dieser Arbeit, sowie die Untersuchungen an den Quarzkopien erscheinen in der *Zeitschr. f. Physik*.

94. Festsetzung von Leitungsnormen für Aluminium[2].

Die Messung der elektrischen Leitfähigkeit von deutschen Aluminiumsorten, die, wie bereits im vorigen Jahre mitgeteilt, auf Wunsch des deutschen Ausschusses für Aluminium-Leitungsnormen ausgeführt wurden, sind in diesem Jahre fortgesetzt und beendigt worden. Es wurden 94 Proben harten bzw. weichen Materials untersucht. Außerdem wurde an 5 Proben der Temperaturkoeffizient des Widerstandes sowie an 9 Proben das spezifische Gewicht bestimmt, das in sehr guter Übereinstimmung zu 2,702 gefunden wurde. Alle diese Ergebnisse wurden zusammen mit den Befunden des Materialprüfungsamtes über Zerreißfestigkeit zu einem Berichte an den Ausschuß verarbeitet, der der Internationalen Elektrischen Kommission vorgelegt wird, sobald die Frage der Normalisierung wieder zum Gegenstande internationaler Beratungen gemacht werden wird.

95. Apparat zur Verstärkung von Galvanometer-Ausschlägen[3].

Zur Verstärkung von Ausschlägen, insbesondere von Galvanometern, kann die Bolometeranordnung Verwendung finden. Der zu diesem Zwecke konstruierte und ausgeführte Apparat besteht aus 2 schmalen Streifen von etwa 1 μ dicker Metallfolie, die unmittelbar nebeneinander angeordnet

[1]) Außerdem 29 Hochspannungsaggregate am Betriebsorte.
[2]) v. Steinwehr und Schulze. [3]) v. Steinwehr.

sind und im Ruhezustande von dem über einen Spiegel reflektierten Lichtzeiger teilweise bedeckt werden. Eine geringfügige Ablenkung des Lichtzeigers bewirkt eine Widerstandserhöhung der einen und eine entsprechende Widerstandsverminderung der anderen Folie. Da hier im Gegensatze zu der Mollschen Anordnung die Wärmeleitung eine untergeordnete Rolle spielt, ist zu erwarten, daß die Einstellung im Brückengalvanometer rascher als bei jenem Apparate stattfindet. Die Arbeiten mit dem neuen Apparate befinden sich noch im Stadium der Vorversuche.

96. Messung der Luftfeuchtigkeit nach der Methode der Überlagerung elektrischer Schwingungen[1].

Der Unterschied der Dielektrizitätskonstanten von Luft und Wasserdampf ist so groß (schätzungsweise bei Zimmertemperatur mindestens 2 %), daß es aussichtsreich erscheint, den Gehalt an Wasserdampf der Luft nach der Methode der Überlagerung der Schwingungen zweier elektrischer Schwingungskreise hoher Frequenz (Wellenlänge ca. 100 m) genauer zu messen als dies nach einer der bisherigen Methoden möglich ist. Vorversuche, die auf diesem Prinzip beruhen, sind im Gange.

97. Untersuchungen an Kobalt[2].

Da über die physikalischen Eigenschaften des Kobalts bisher wenig bekannt ist, wurde an verschiedenen Sorten sehr reinen Kobalts sowie an technischem Kobalt der spezifische Widerstand, dessen Temperaturkoeffizient, die thermische Ausdehnung und die Thermokraft bestimmt. Es stellte sich heraus, daß der kleinste bisher gemessene spezifische Widerstand um etwa 50 $^0/_0$ größer war als der jetzt an reinstem Kobalt gefundene; für letzteres ergab sich bei einer Temperatur von 20° C ein spezifischer Widerstand $\sigma = 6{,}36_8 \times 10^{-6}$. Ferner zeigte sich im Verlauf des elektrischen Widerstandes mit der Temperatur sowie in der thermischen Ausdehnung und Thermokraft oberhalb 400° C deutlich der Umwandlungspunkt des Kobalts, bei dem es aus dem hexogonalen in den flächenzentrierten kubischen Zustand übergeht. Die Arbeit ist bereits veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 80).

98. Umwandlungspunkt des Aluminiums[2].

Die Frage, ob Aluminium zwischen 500 und 600° C einen Umwandlungspunkt besitzt, ist in der Literatur teils bejaht, teils verneint worden. Diese Entscheidung wurde von verschiedenen Seiten auf Grund von Messungen der thermischen Ausdehnung getroffen. Nun hat sich in der Reichsanstalt gezeigt, daß die thermische Ausdehnung bei Aluminium nicht empfindlich genug gegen konstitutionelle Änderungen ist, so daß Messungen des elektrischen Widerstandes bis oberhalb 600° C vorgenommen werden mußten. Untersucht wurden drei Aluminium-Sorten, mit einem Reingehalt von 99,6 $^0/_0$, 99,9 $^0/_0$ und 99,94 $^0/_0$; letzteres stammt als besonders reines Al von der Aluminium-Compagnie of America.

Bei diesen Untersuchungen hat sich nun ergeben, daß die Widerstandskurven von Al 99,6 und Al 99,9 zwischen 500 und 600° C Knickpunkte aufweisen, die auf Verunreinigungen von Si und Fe zurückzuführen sind, wie sich aus den von Gwyer und Phillips[3]) aufgenommenen Zustandsdiagrammen des ternären Systems Al-Si-Fe ergibt, daß dagegen die Wiederstandskurve von Al 99,94 bis oberhalb 600° C einen glatten Verlauf hat. Daraus folgt, daß Aluminium bis oberhalb 600° keinen Umwandlungspunkt besitzt.

99. Umwandlungspunkt bei Wismut[2].

Von Cohen und Moesveld[4]) ist angegeben, daß Wismut bei 75° C eine Modifikationsumwandlung erleidet. Da jedoch verschiedene Umstände gegen diese Behauptung sprechen, sollen diese sowie verschiedene damit im Zusammenhang stehende Fragen einer systematischen Untersuchung unterzogen werden. Bisher wurden zwei Sorten sehr reinen Wismuts untersucht.. Auf Grund eingehender elektrischer und dilatometrischer Messungen zwischen 0 und 100° C ist festgestellt, daß in diesem Temperaturgebiet keine Umwandlung nachzuweisen ist. Die Messungen werden fortgesetzt.

100. Monel-Metall[2].

Monel-Metall, das eine Naturlegierung von etwa 67 $^0/_0$ Nickel, 28 $^0/_0$ Kupfer und 5 $^0/_0$ Eisen und Mangan ist, wurde für elektrische, magnetische und thermische Messungen von der Monel-Metall-Gesellschaft in Frankfurt a. M. zur Verfügung gestellt. Es wurde an einer Reihe von Proben die elektrische Leitfähigkeit und deren Temperaturkoeffizient, die Magnetostriktion sowie die Thermokraft und thermische Ausdehnung bestimmt.

101. Konstitution von Kobalt-Eisen- und Kobalt-Nickel-Legierungen[2].

Die Konstitution der Kobalt-Eisen- und Kobalt-Nickel-Legierungen ist im großen und ganzen nur in dem Temperaturgebiet, das innerhalb der Schmelzkurven und der magnetischen Umwandlungskurven liegt, bekannt. Diese Kurven deuten die Bildung einer einzigen ununterbrochenen Reihe fester Lösungen aus dem Schmelzfluß an. In tieferen Temperaturen war über die Konstitution

---

[1]) v. Steinwehr. [2]) A. Schulze.

[3]) *Journ. Inst. of Met. 1927 Nr. 443.*

[4]) Cohen und Moesveld, *Zeitschr. f. physik. Chem.* **85.** *S. 419. 1913.*

bisher nichts bekannt. Aus diesem Grunde wurde zu ihrer Untersuchung die elektrische Leitfähigkeit und deren Temperaturkoeffizient einer großen Reihe von Legierungen bestimmt. Sie waren als Stäbe (30 cm Länge und 0,6 cm Durchmesser) von der Firma Friedr. Krupp in Essen zur Verfügung gestellt worden. — Was das Legierungssystem Kobalt-Eisen anbetrifft, lassen die Kurven das Vorhandensein von drei Verbindungen Fe_2Co, $FeCo$, $FeCo_2$, die untereinander und mit den reinen Metallen vollständige Mischkristallreihen bilden, deutlich erkennen. Über das Vorhandensein einer Verbindung Fe_3Co_2 bestehen jedoch noch Zweifel. Bei den Kobalt-Nickel-Legierungen kann man auf das Vorhandensein der drei Verbindungen Ni_4Co, Ni_3Co_2, $NiCo_4$ schließen, die ebenfalls untereinander wie mit den reinen Metallen vollständige Mischkristallreihen bilden.

Das Vorhandensein dieser Verbindungen wurde durch die Messungen der thermischen Ausdehnung an beiden Legierungssystemen bestätigt. Dieses Ergebnis ist besonders aus dem Grunde interessant, als bei dem Auftreten intermediärer Kristallarten in nicht ferromagnetischen Legierungssystemen (im kristallisierten Zustand) derartig große Unstetigkeiten in den Ausdehnungskurven bisher nicht bekannt sind. Diese Arbeiten sind bereits veröffentlicht. (Anh. 1, Nr. 81 u. 82.)

102. Magnetostriktion[1]).

Für die Untersuchung der Magnetostriktion, die nach der bereits im letzten Tätigkeitsbericht beschriebenen Methode (Messung der Kapazitätsänderung im Überlagerungsverfahren zweier Hochfrequenzkreise; Anh. 1, Nr. 83) bestimmt wird, liegt bisher ein umfangreiches Beobachtungsmaterial vor. Die Metalle und Legierungen waren im allgemeinen als Stäbe von etwa 30 cm Länge und 5 bis 6 mm Durchmesser hergestellt. Zunächst ist eine große Reihe verschiedener Eisen- und Stahlsorten untersucht worden. Für reines Eisen wurde bei kleinen äußeren Magnetfeldern eine Verlängerung beobachtet, die ein Maximum hatte und später wieder null wurde, um bei höheren Feldstärken negativ zu werden. Der Punkt, in dem die Magnetostriktion null wird, liegt im allgemeinen bei um so höheren Feldstärken, je unreiner das Material ist. Bei Nickel besitzt das reinste Metall die größte Kontraktion. Kobalt, bei dem ebenfalls Kontraktion im Magnetfeld auftritt, zeigt kleinere Striktionseffekte als Nickel.

Von den Eisen-Nickel-Legierungen wurden 15 Legierungen mit 1 bis 2% Manganzusatz, die über das ganze Konzentrationsgebiet nahezu gleichmäßig verteilt waren, untersucht. Sie zeigen teils Verlängerungen, teils Verkürzungen; bei der Legierung mit etwa 81% Ni ist die Magnetostriktion null. Legierungen in diesem Konzentrationsbereich haben bei geeigneter thermischer Behandlung außerordentlich hohe Anfangspermeabilitäten, sind jedoch gegen mechanische Eingriffe, wie Walzen, Recken usw., sehr empfindlich, wobei sofort die guten magnetischen Eigenschaften verlorengehen. Es liegt somit der Schluß nahe, daß die hohe Anfangspermeabilität mit dem Verschwinden der Magnetostriktion in Zusammmenhang steht. Wie nun Messungen nach verschiedener thermischer Behandlung ergeben haben, ist die Magnetostriktion der Eisen-Nickel-Legierungen (im reversiblen Gebiet) nahezu unabhängig von derselben, ebenso wie ihre Magnetisierungsintensitäten. Daraus folgt, daß die hohe Anfangspermeabilität von Permalloy in keinem direkten Zusammenhange mit der Magnetostriktion steht. Die Magnetisierungsintensitäten sowie die Anfangspermeabilitäten sind für diese Versuche im Magnetischen Laboratorium gemessen. Die Abhängigkeit der $\frac{\Delta l}{l}$ -Werte von der relativen Magnetisierungsintensität $\frac{I}{I_\infty}$ deutet auf keinen einfachen Zusammenhang hin. Geringe Verunreinigungen sind von großem Einfluß auf die Magnetostriktion; so zeigen z. B. die Eisen-Nickel-Legierungen, die aus Elektrolyteisen und Elektrolytnickel im Magnetischen Laboratorium hergestellt sind, also außerordentliche Reinheit besitzen, erheblich kleinere Magnetostriktion. Im irreversiblen Gebiet besteht eine große Abhängigkeit der Magnetostriktion von der thermischen Vorbehandlung.

Von anderen Legierungssystemen sind die Kobalt-Eisen- und Kobalt-Nickel-Legierungen untersucht worden. Entsprechend ihrer komplizierten Konstitution treten die hier vorhandenen Verbindungen durch scharfe Spitzen hervor, wie überhaupt die Magnetostriktion gegen konstitutionelle Einflüsse sehr empfindlich ist.

Ferner ist die Magnetostriktion von Eisen-Aluminium-, Eisen-Silizium-, Eisen-Mangan-Legie-

---

[1]) A. Schulze.

rungen, sowie von Nickel-Kupfer-, Nickel-Wolfram-Legierungen und einigen Proben Monel-Metall bestimmt worden.

Ein Wismutstab gibt bis zu hohen Magnetfeldern keine Magnetostriktion, woraus folgt, daß dieselbe mit der Änderung des elektrischen Widerstandes im Magnetfeld in keinem Zusammenhange steht.

103. Registrierung von Kapazitätsänderungen[1]).

Es ist damit begonnen worden, eine Methode auszuarbeiten, um Kapazitätsänderungen zu registrieren. Die ersten Versuchsreihen haben bereits ergeben, daß sich ohne besondere Schwierigkeiten eine verhältnismäßig große Empfindlichkeit erreichen läßt. Die Untersuchungen werden fortgesetzt.

104. Internationale Frequenzmessungen[2]).

Auch in diesem Jahre haben wie schon 1924 und 1926 internationale Frequenzvergleichungen im Frequenzgebiet der drahtlosen Telegraphie stattgefunden. Die Resultate der Messungen aus den Jahren 1926 und 1927, die mit Hilfe von Piezoquarzen ausgeführt wurden, sind, soweit sie schon vorliegen, in den folgenden Tabellen enthalten.

Die Messungen der Tabelle 1 und 2 wurden mit Hilfe von piezoelektrischen Oszillatoren des Bureau of Standards ausgeführt, die von einer Meßstelle zur anderen als Frachtgut gesandt wurden. Die Piezoquarze haben in diesen Apparaten die Form von Platten mit drei longitudinalen Grundfrequenzen f_a, f_b, f_c. Die Messungen des Bureau of Standards von 1925 und 1927 haben für die Frequenzen f_a und f_c des Oszillators 33465 D Differenzen von 0,4 $^0/_{00}$ ergeben, hier scheinen also Änderungen des Oszillators durch den Transport eingetreten zu sein; doch dürfte die größte beobachtete Differenz von 1,3 $^0/_{00}$ in Tabelle 1 auf Differenzen der Normalfrequenzskalen zurückzuführen sein.

Wesentlich bessere Übereinstimmung, und zwar innerhalb 0,1 $^0/_{00}$, haben die Messungen, Tab. 3, des Jahres 1927 ergeben. Hier diente als Vergleichsnormal ein Piezooszillator neuerer Konstruktion mit Thermostat) des Bureau of Standards, der von einem Herrn dieses Instituts persönlich zu den verschiedenen Meßstellen gebracht wurde.

Um auch bei sehr hohen Frequenzen Vergleichungen durchzuführen, wurden zu Beginn des Jahres von der Reichsanstalt vier leuchtende Resonatoren zur Rundreise über die 5 Meßstellen abgesandt. Die bisherigen, noch unvollständigen Resultate enthält Tabelle 4. Für die beiden Resonatoren 10002 und 10004 wurden an 3 Meßstellen innerhalb von etwa 0,1 $^0/_{00}$ übereinstimmende Werte gemessen; der Resonator 10001 ist auf dem Wege von Italien nach Frankreich beschädigt. Ob die Differenzen von 0,2 bzw. 0,3 $^0/_{00}$ beim Resonator 10003 auf Veränderungen durch den Transport zurückzuführen sind, kann erst die nach beendeter Rundreise in der Reichsanstalt vorzunehmende Nachmessung lehren.

Tabelle 1. Piezooszillator B. S. 33465 — D mit Quarzplatte Nr. 15.

Laboratorium	Datum	Frequenz in Hz					
		f_a	Δf $^0/_{00}$	f_b	Δf $^0/_{00}$	f_c	Δf $^0/_{00}$
Amerika Bureau of Stand.	Dez. 1925	75300		106240		455400	
England Nat. Phys. Lab.	Febr. 1926	75344	+0,6	106273	+0,3	455560	+0,3
Frankreich General Ferrié	Juli 1926	75330	+0,4	106100	−1,3	455700	+0,7
Italien Prof. Vallauri	Sept. 1926	75347	+0,6	106200	−0,4	455474	+0,2
Deutschland Phys.-Techn. Reichs.	Febr. 1927	75331	+0,4	106248	+0,1	455525	+0,3
Amerika Bureau of Stand.	Juli 1927	75330	+0,4	106240	+0,0	455570	+0,4

[1]) A. Schulze, Zickner. [2]) Giebe, Scheibe.

Tabelle 2. Piezooszillator B. S. 33465 — C mit Quarzplatte Nr. 16.

B. o. St.	Mai 1926	75037		105870		455833	
P. T. R.	Febr. 1927	75035	+ 0,0	105879	+ 0,1	455940	+ 0,2
Vallauri	März 1927	75090	+ 0,7	105952	+ 0,8	456152	+ 0,7
Ferrié	Juni 1927	75004	− 0,4	—		455940	+ 0,2

Tabelle 3. Spezial-Piezooszillator B. o. St.

Laboratorium	Frequenz in Hz			
	Oszillator Y	Δf ‰	Oszillator X	Δf ‰
B. o. St.	200122		200142	
P. T. R.	200131	+ 0,04	200152	+ 0,05
Vallauri	200119	− 0,01	200137	− 0,02
Ferrié	200134	+ 0,06	200149	+ 0,03
N. P. L.	200118	− 0,02	200128	− 0,07

Tabelle 4. Leuchtende piezoelektrische Resonatoren der P. T. R.

Laboratorium	Datum	Frequenz in Hz							
		Resonator 10001	Δf ‰	Resonator 10002	Δf ‰	Resonator 10003	Δf ‰	Resonator 10004	Δf ‰
P. T. R.	Febr. 1927	3874600		1996740		749090		500330	
Vallauri	Apr. 1927	3874400	− 0,05	1996500	− 0,12	748920	− 0,23	500370	+ 0,08
Ferrié	Aug. 1927	—		1996750	+ 0,01	748860	− 0,31	500310	− 0,04

105. Piezoelektrische Untersuchungen[1]. Die Untersuchungen über piezoelektrische Anregung von Dehnungs-, Biegungs- und Drillungsschwingungen bei Stäben und Ringen aus Quarz wurden fortgesetzt. An einer größeren Anzahl von Stäben verschiedener Abmessungen und verschiedener Orientierung zu den Kristallachsen wurden die elastischen Eigenfrequenzen der drei Schwingungsarten bis hinauf zu sehr hohen Oberschwingungen genau gemessen. Die höchste Oberschwingung, die sich anregen ließ, war die 53. transversale eines 80 mm langen Quarzstabes von quadratischem Querschnitt (1,5 mm^2); sie hat eine Frequenz von 880000 Hz, während die Grundschwingung desselben Stabes zu 1286 Hz gemessen wurde.

Ein Teil des umfangreichen Beobachtungsmaterials ist bereits veröffentlicht (vgl. Anh. 1, Nr. 74). Weitere Veröffentlichungen werden demnächst erscheinen.

106. Wirkwiderstand von Induktivitätsnormalen[2]. Die Zahl der Prüfungsanträge auf dem Gebiete der Induktivitätsnormalen, insbesondere der Anträge auf Bestimmung des Wirkwiderstandes bei verschiedenen Frequenzen, ist im Berichtsjahr wiederum nicht unwesentlich gestiegen. Daß sich der Widerstand von Litzenspulen in größeren Zeiträumen ändert, ist in der Reichsanstalt bereits seit langem bekannt. Im Laufe der jetzigen Untersuchungen zeigte sich, daß bei manchen Spulen auch in kurzer Zeit, z. B. während der Messung, plötzliche Änderungen des Wirkwiderstandes auftreten, welche die von der Technik geforderte Meßgenauigkeit von wenigen Promille übersteigen. Die Ursache der Widerstandsschwankungen ist offenbar in Aderbrüchen innerhalb der Litze zu suchen. Da solche Brüche bei der Herstellung der Litze unvermeidbar sind, so ist eine sehr weitgehende Unterteilung der Litze in Einzelleiter sehr kleiner Dicke mit Rücksicht auf die mangelnde Konstanz des Widerstandes unzweckmäßig.

107. Röntgendosiseinheit[3]. Zur Vorbereitung der internationalen Vereinheitlichung der Röntgeneinheit wurde ein Vergleich zwischen der deutschen R-Einheit (Behnken) und der französischen (Solomon) ausgeführt. Durch Verwendung einer wellenlängenunabhängigen Kammer wurde eine Verhältniszahl gefunden, die für alle Strahlenqualitäten gültig ist. Es ergab sich, daß eine deutsche Röntgeneinheit 2,25 französischen Einheiten entspricht.

108. Vergleich der amerikanischen und der deutschen Röntgendosiseinheit[4]. Für die Vergleichsmessungen in Amerika wurden zwei besondere transportsichere Instrumente

[1] Giebe, Scheibe.
[2] Zickner. [3] Behnken und R. Jaeger. [4] Behnken.

mit Uran-Ionisationsstandard und auswechselbaren Kammern gebaut, die auf Reisen nach Hamburg, Göttingen und Bonn ausprobiert wurden.

Die amerikanische Röntgendosiseinheit ist ebenso wie die deutsche definiert als diejenige Röntgenenergie, die pro Kubikzentimeter durchstrahlter Luft unter Normalbedingungen durch Ionisation eine Elektrizitätsmenge von einer elektrostatischen Einheit freimacht. Man sollte also erwarten, daß beide Einheiten innerhalb der erreichbaren Meßgenauigkeit untereinander gleich sein müßten. Gleichwohl fand Glasser [1]) in Cleveland bei einem Vergleich mehrerer in Deutschland geeichter und nach Amerika gesandter Dosismesser beträchtliche Unterschiede. Im Mittel erschien die deutsche Einheit um etwa 40% größer als die amerikanische. Da durch diese Diskrepanz die Brauchbarkeit der oben genannten Definition der Dosiseinheit als internationale Einheit zweifelhaft erscheint, so ist ihre Beseitigung oder wenigstens die Aufklärung ihrer Ursachen dringend erwünscht, zumal im Hinblick darauf, daß beabsichtigt ist, auf einem im Juli 1928 in Stockholm tagenden internationalen Kongreß Beschlüsse über eine internationale Dosiseinheit zu fassen. Da durch Briefwechsel mit den in Betracht kommenden amerikanischen Stellen keine Klärung erreicht wurde, reiste Reg.-Rat Behnken mit eigens dazu konstruierten Dosismessern, von denen auf Grund einer Reihe von Kontrolleinrichtungen erwartet wurde, daß sie einen sicheren Transport der Einheit ermöglichten nach Amerika, um an Ort und Stelle zusammen mit den amerikanischen Physikern Vergleichsmessungen auszuführen. Die Messungen werden zum Teil in Cleveland, Ohio, im Laboratorium von Glasser, zum Teil im Laboratorium von Dnane, Harvard University, Cambridge, ausgeführt. Soweit die Ergebnisse bis jetzt vorliegen, zeigte es sich, daß von einer Diskrepanz von 40% keine Rede sein kann, sondern höchstens von einem Unterschiede von im Mittel etwa 3%. Dieser Unterschied ist durch Verschiedenheiten der Meßmethoden sowie durch die nicht sehr große Meßgenauigkeit zwanglos zu erklären. Er ist für die Praxis ohne Bedeutung. Es ergibt sich aber ferner, daß es erforderlich ist, die praktischen Dosismesser, die für den Transport der Einheit bestimmt sind, mit Kontrolleinrichtungen zu versehen, die die Feststellung und Elimination etwaiger Veränderungen sicher ermöglichen. Eingebaute Stromnormale in Gestalt von Luftkondensatoren, deren Platten mit Uranoxyd überzogen sind, scheinen hierfür gut geeignet zu sein [2]).

109. Kompensationsmethode zur Messung von Ionisationsströmen und lichtelektrischen Strömen [3]).

Die noch nicht abgeschlossenen Versuche wurden in der Weise durchgeführt, daß in den Ionisationsstromkreis eines Röhrengalvanometers (Siemens-Dosismesser) ein Uranstandard mit besonderer Batterie so eingeschaltet wurde, daß der von der Röntgenstrahlung herrührende Ionisierungsstrom und der Strom des Uranstandards sich kompensierten. Der Strom des Uranstandards konnte durch eine verschiebbare Blende einreguliert werden (vgl. H. Schering, Registrierung des spezifischen Leitvermögens der atmosphärischen Luft, Nachrichten der Königl. Gesellschaften der Wissenschaften zu Göttingen 1908). Auf diese Weise konnte an einer Skale des Uranstandards der in der Kammer fließende Ionisationsstrom unter Umgehung der Charakteristik der Verstärkerröhe und der Größe der Meßwiderstände direkt abgelesen werden. Der maximale Strom betrug etwa 3×10^{-10} A. Für eine frequenzunabhängige Röntgenstrahlen-Meßkammer lassen sich an Stelle des Ionisationsstromes die Dosisleistungen in R/sec selbst ablesen.

110. Neubestimmung der Lichtgeschwindigkeit [4]).

Bei der Bestimmung der geometrischen Abmessungen des ersten fertiggestellten Schutzringkondensators (vgl. den vorigen Tätigkeitsbericht Ziff. 86, a und b), die in Abt. I ausgeführt wurde, stellte sich heraus, daß der Schliff der Zylinderflächen, welche den Luftspalt zwischen Schutzring und geschützter Kreisplatte begrenzen, nicht präzis genug für die angestrebte Meßgenauigkeit war. Da die erforderlichen technischen Mittel in der Hauptwerkstatt nicht vorhanden waren, wurde die Zylinderfläche der Kreisplatte von der Firma Ludwig Loewe auf einer Schleifmaschine mit vertikaler Spindel erneut übergeschliffen und entsprach nunmehr den außerordentlich hohen Anforderungen an die Präzision der Bearbeitung (vgl. Ziff. 61 l). Die Bestimmung des Durchmessers der Kreisplatte soll nach zwei verschiedenen Methoden, und zwar 1. mit Hilfe eines Endmaßes, 2. mit Hilfe eines Strichmaßes als Normal durchgeführt werden. Die für die Anwendung der zweiten Methode not-

[1]) *Strahlentherapie* **24.** *S. 710. 1927.*

[2]) Vgl. H. Behnken, *Zeitschr. f. techn. Physik* **5.** *S. 3—16. 1924*; *Strahlentherapie* **26.** *S. 79. 1927.*

[3]) R. Jaeger. [4]) Giebe, Schmidt.

wendigen Hilfsmittel sind in der Hauptwerkstatt hergestellt, so daß nach einigen notwendigen Voruntersuchungen (vgl. Ziff. 54) demnächst mit den Messungen begonnen werden kann.

Im Laufe der bereits beendeten Messungen nach der ersten Methode tauchten Bedenken auf, ob das für die Kondensatorplatten benutzte Material, eine Spezial-Phosphorbronze, in den geforderten Genauigkeitsgrenzen zeitlich unveränderlich ist. Die Herren Schönrock und Einsporn haben daher die im Dezember 1926 ausgeführte Prüfung auf Ebenheit der sehr präzis geschliffenen und polierten Oberfläche einer Kondensator-Deckplatte (vgl. den vorigen Bericht Ziff. 86d) nach vier Monaten wiederholt. Es ergab sich, daß die Ebenheit der Platte unverändert geblieben war. Dabei wurde zugleich festgestellt, daß die Durchbiegung der stark versteiften Platte durch ihr Eigengewicht verschwindend klein ist, wenn die Platte an drei geeignet gelegenen Punkten aufgehängt wird, an denen sie beim zusammengesetzten Kondensator auf drei Quarzzylindern aufliegt.

Die für die elektrischen Messungen bestimmten, von Schering im Tätigkeitsbericht 1925 beschriebenen Normalwiderstände für hohe Belastung sind weiter untersucht worden. Nach Vornahme einiger konstruktiver Änderungen wurden an einem Widerstand von 1000 Ohm sehr befriedigende Resultate bezüglich der Belastungsfähigkeit und Konstanz erzielt.

111. Preßgaskondensator[1]. Preßgaskondensatoren als verlustfreie Vergleichskapazitäten zur Messung des dielektrischen Verlustwinkels bei Hochspannung, z. B. von Kabeln und Durchführungen, wurden bisher in Metallgehäuse eingebaut, wobei die Hochspannung durch einen Durchführungsisolator eingeführt wurde. Bei Spannungen über 150 kV wird der Durchführungsisolator sehr groß und schwer und seine Abdichtung bei Drucken von etwa 10 Atm. schwierig. Es wurde ein abgeschützter Kondensator in ein 2 m langes Hartpapierrohr ausreichender mechanischer Festigkeit eingebaut, wodurch sich der Durchführungsisolator erübrigte. Bei diesem Kondensator traten zuerst Glimmentladungen außen am Hartpapierrohr auf, doch gelang es, diese durch einige konstruktive Änderungen der Innenteile zu beseitigen, so daß der Kondensator bis 300 kV einwandfrei als verlustfreier Vergleichskondensator zu benutzen ist. Die Konstruktion gestattet, verlustfreie Preßgaskondensatoren auch für noch höhere Spannungen herzustellen.

112. Oberflächenwiderstand von Isolierstoffen bei höheren Temperaturen[2]. Auf Anregung der Isolierstoffkommission des Verbandes Deutscher Elektrotechniker wurde der Schneidenapparat zur Bestimmung des Oberflächenwiderstandes von Isolierstoffen für Temperaturen bis etwa 130° C verwendbar eingerichtet. Statt der Hartgummi-Isolation des für Zimmertemperatur gedachten bisherigen Geräts erwies sich Rein-Bakelite, Marke W, das die Bakelite-Gesellschaft in Erkner bei Berlin freundlichst zur Verfügung stellte, auch für die höheren Temperaturen als elektrisch hochwertiger und mechanisch fester Isolierstoff. Die stanniolüberzogenen Weichgummischneiden wurden durch Asbestschneiden mit Stanniolüberzug ersetzt. Die Untersuchung verschiedener Typen von Isolierstoffen auf ihren Oberflächenwiderstand bei etwa 100° C ist noch im Gange.

113. Versuche zur Vokaltheorie und Wortbildung[3]. Vokalkurven und reine Sinuskurven wurden mittels lichtelektrischer Zelle und Telephon in akustische Schwingungen zurückverwandelt. Der hierfür nötige verzerrungsfreie Verstärker war von der Firma Reisz, Berlin, zur Verfügung gestellt worden. Die Versuche ergaben für die Formanten der Vokale die von W. Köhler angegebenen absoluten Schwingungszahlen. Mit der gleichen Anordnung konnten akustische Kontrast- und Ermüdungserscheinungen beim Hören von Vokalen untersucht werden. Hieran schlossen sich Beobachtungen über die Kombinationsfähigkeit beim Analysieren akustischer Empfindungen. Die Ergebnisse sind veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 73).

114. Lagerversuche[4]. Die Öl- und Lagerversuche wurden fortgesetzt. Nach dem von Schering und R. Vieweg angegebenen Verfahren zur Messung der Ölfilmdicke durch Kapazitätsbestimmung (vgl. Tätigkeitsbericht 1926, Ziff. 91) wurden weitere Versuche ausgeführt. Die Brückenanordnung in handlicher Form wurde fertiggestellt und diente u. a. auch zu Vorführungen auf der Werkstoffschau.

Zur Klärung der Frage der Bildung zusammenhängender Ölfilme in Kugellagern wurden Versuche in Gang gebracht, bei denen Kugellager gleicher Type, aber mit verschiedenem Lagerspiel (sogen. Betriebsluft oder Durchschlag) verglichen werden.

---

[1]) H. Schering, R. Vieweg. [2]) R. Vieweg.
[3]) Engelhardt und Gehrcke. [4]) V. Vieweg, R. Vieweg.

Zu dem in der Reichsanstalt durchgebildeten Torsionsdynamometer mit optischer Ablesevorrichtung und Luftreibungsschutz (vgl. Tätigkeitsbericht 1925, S. 25) wurde eine elektrische Anzeigevorrichtung entwickelt. Abschließende Versuche sind im Gange. *115. Torsionsdynamometer*[1].

Die Messungen zur Bestimmung der Zusatzverluste aus den beim Kurzschlußversuch als Synchronmaschine (synchroner Kurzschluß) auftretenden Pulsationsverlusten wurden an kleineren Motoren durchgeführt. Infolge der bei Kurzschluß und normalem Betrieb wesentlich verschiedenen Magnetisierung wurden die Pulsationsverluste bei asynchroner Belastung (Zusatzverluste) in einem bestimmten Verhältnis kleiner gefunden als die Pulsationsverluste beim synchronen Kurzschlußversuch. *116. Zusätzliche Verluste in Asynchronmotoren*[2].

a) Schleifringankermotoren. Bei Speisung der Läuferwicklung mit Gleichstrom gehen die Bürstenübergangsverluste in die Messung nicht ein. Nach Abzug der Reibungsverluste und der Ständerstromwärmeverluste von der mechanisch zuzuführenden Leistung erhält man die Pulsationsverluste V_k beim Kurzschlußstrom J_{k_1} im Ständer.

Die Zusatzverluste V_z beim Ständerstrom J errechnen sich dann für Schleifringankermotoren zu

$$V_z = c\,\frac{J^2 - J_0^2}{J_{k_1}^2}\,V_k,$$

wobei J_0 den Ständerleerlaufstrom bedeutet. Für die Konstante c wurde der Wert 0,5 ermittelt.

b) Kurzschlußankermotoren. Die zusätzlichen Verluste lassen sich auch bei Kurzschlußankermotoren aus den Pulsationsverlusten beim synchronen Kurzschluß ermitteln, wenn der Ständer mit Gleichstrom gespeist wird. Die Stromwärmeverluste im Läufer, die nicht mehr direkt aus Strom und Widerstand bestimmbar sind, können entweder durch ein Extrapolationsverfahren aus Messungen bei verschiedener Drehzahl oder durch einen asynchronen Kurzschlußversuch oder aus den Schlupfverlusten bei Bremsung ermittelt werden. Mittels Umrechnungsfaktoren werden die Verluste auf den Gleichstrom im Ständer bezogen.

Für die Zusatzverluste V_z beim Kurzschlußankermotor ergibt sich

$$V_z = c'\,\frac{J^2 - J_0^2}{J_{e_1}^2}\,V_k',$$

wobei V_k' die Pulsationsverluste beim Erregerstrom J_{e_1} sind. Für den Faktor c' wurde der Wert 1 gefunden.

Will man unter Benutzung stroboskopischer Erscheinungen Bewegungsvorgänge über längere Zeit beobachten, so besteht die Schwierigkeit, die Frequenz des Beobachtungshilfsmittels (z. B. der Glimmlampe) stets im Gleichtakt mit der Frequenz des zu beobachtenden Vorgangs zu halten. Es wurde daher versucht, die Frequenz der Lichtquelle von dem Bewegungsvorgang selbst steuern zu lassen. Als eine brauchbare Schaltung erwies sich die in Abb. 3 dargestellte. Der zu beobachtende Vorgang ist hier die Drehbewegung einer Maschine. Vor einem ruhenden Eisenjoch J, das eine in den Lampenkreis geschaltete Spule S trägt, rotiert ein von der Maschine angetriebener Magnetstab M, so daß in der Spule S eine Spannung von der Frequenz der Drehbewegung der Maschine entsteht. Regelt man die Blinkfrequenz der Lampe L durch Veränderung des Widerstandes R oder der Kapazität K, so daß sie genähert mit der Frequenz des Magneten übereinstimmt, so fällt die Lampenfrequenz in Tritt mit der Frequenz des Magneten und damit auch mit der Frequenz der zu beobachtenden Drehbewegung. Die gewünschte Steuerung ist damit erreicht. Die Untersuchung ist abgeschlossen und wird demnächst veröffentlicht. *117. Stroboskop*[3].

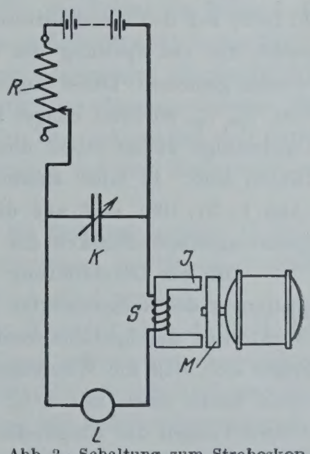


Abb. 3. Schaltung zum Stroboskop.

Im Berichtsjahr wurde der Elektrizitätsbezug der Reichsanstalt von Niederspannungs- auf Hochspannungsbezug umgestellt und hierfür eine von der Allgemeinen Elektrizitäts-Gesellschaft Berlin *118. Betrieb*[4].

---

[1] V. Vieweg, R. Vieweg. [2] Linckh.
[3] Linckh, R. Vieweg.
[4] V. Vieweg, bis März auch R. Vieweg, März-August auch Zickner.

gelieferte erweiterte Transformatoren- und Schaltanlage errichtet. Ferner wurde ein neuer 40-kVA-Drehstrom-Drehstromumformer mit Erregermaschine in Betrieb genommen. Der Maschinensatz ermöglicht Wechselstromuntersuchungen durch Stromentnahme aus dem Netz ohne Inanspruchnahme von Batterien. Außerdem wurde die Gleichrichter- und Schaltanlage vergrößert. Trotzdem ist die vorhandene elektrische Anlage bereits wieder überbeansprucht, da die Benutzung von Maschinen und Batterien in der gesamten Reichsanstalt stark zugenommen hat.

In der Werkstatt des Starkstromgebäudes wurden an größeren Arbeiten ein Preßgaskondensator für Höchstspannungen nach H. Schering und R. Vieweg, eine Verstärkereinrichtung und zwei Kapazitätsmeßbrücken vollendet. Auch ein Teil der neuen Schalttafeln wurde in der Werkstatt hergestellt.

119. Verbesserung der magnetischen Meßeinrichtung.

Die Anzahl der Prüfungen im Magnetischen Laboratorium ist annähernd die gleiche geblieben wie im Vorjahre. Dagegen sind die schon im letzten Bericht erwähnten meßtechnischen Schwierigkeiten noch wesentlich stärker in Erscheinung getreten, so daß es bei vielen Anträgen zweifelhaft sein konnte, ob es sich um eine Prüfung oder eine spezielle wissenschaftliche Untersuchung handele.

a) Verlustmessung im Epstein-Apparat[1].

Auf Anregung des Eidgenössischen Amts für Maß und Gewicht in Bern wurden vergleichende Untersuchungen größter Genauigkeit an drei verschiedenen Epstein-Proben des Berner Instituts ausgeführt, um über mehrfach in Erscheinung getretene Differenzen Klarheit zu gewinnen. Die Messungen in der Reichsanstalt sind vorläufig beendet, die Diskussion ist aber noch nicht abgeschlossen.

b) Methode zur Absolutmessung von Normalstäben größeren Querschnittes aus Magnetstahl[2].

Die im Arbeitsplan vorgesehene Ausarbeitung einer Methode zur Absolutmessung von Magnetstahlstäben größeren Querschnitts ist dadurch nötig geworden, daß bei den Magnetstahlwerken ein immer größeres Bedürfnis nach Normalproben zur genauen Kontrolle und Eichung der Meßapparate von Bosch und Hartmann und Braun aufgetreten ist. Es wurde dazu eine besondere Jocheinrichtung konstruiert, die die Feldstärke mit Hilfe des magnetischen Spannungsmessers zu messen gestattet. Jochbacken und Proben in verschiedenen Dimensionen und aus verschiedenem Material wurden in dankenswerter Weise von der Stahlwerk Becker A.-G. zur Verfügung gestellt. Nach anfänglichen Schwierigkeiten gibt die Methode jetzt Resultate großer Genauigkeit. Die endgültigen Messungen sind im Gange.

c) Verbesserung der ballistischen Meßmethode[1].

Mit dem Ziel der Verbesserung der ballistischen Meßmethode wurden Versuche über Spannungsverstärkung durch Erhöhung der Steilheit von Elektronenröhren fortgesetzt (vgl. Jaeger und Scheffers, *Wissensch. Veröffentl. im Siemenskonz.* **4**. *S. 233. 1925*). Wie schon damals angedeutet wurde, stellte sich heraus, daß eine praktische Grenze der Verstärkung durch die Schwankungen des Heizstromes bedingt ist, die in der benutzten Schaltung in außerordentlich hohem Maße (über 1 : 1000) auf den Anodenstrom übertragen werden. Es wurde eine Reihe von Stromquellen untersucht, die zur Speisung des Glühdrahtes dienen könnten; die dabei auftretenden Schwankungen wurden gemessen. Dabei zeigte sich, daß man bei einem Heizstrom von etwa 0,3 A mit einer Änderung von $^1/_{100}\,^0/_{00}$ während einiger Minuten rechnen müsse und daß sich bei Akkumulatoren dauernd unregelmäßige kleine Stöße überlagern, die wahrscheinlich auf das Ablösen von Gasperlen zurückzuführen sind. In einer zusammenfassenden Veröffentlichung wurde über diese Versuche berichtet (Anh. 1, Nr. 108) und auf die prinzipiellen Möglichkeiten hingewiesen, die bisher erreichte Gleichspannungsempfindlichkeit der Elektronenröhre (10^{-6} V) noch zu steigern.

120. Prüfung der Gültigkeit der Maxwellschen Grundgleichungen bei ferromagnetischen Körpern[1].

Die zur Durchführung der beabsichtigten Versuche (vgl. vorigen Bericht) erforderliche Neujustierung des kompensierten Magnetometers konnte wegen der großen Störungen nur während der Nachtzeiten durchgeführt werden. Bei der Eichung, die von Grund aus vorgenommen werden mußte, zeigte sich, daß die Windungsfläche einer schon früher elektrodynamisch genau bestimmten Hilfsspule heute einen um $2\,^0/_{00}$ geringeren Wert ergibt. Wegen der dauernd auftretenden kleinen Schwankungen der Empfindlichkeit erwies es sich als notwendig, jedesmal den etwas zeitraubenden Anschluß an die Normalspulen vorzunehmen. Ebenso muß der nicht vollkommenen Bodenruhe der Aufstellung durch eine jedesmalige Lagenbestimmung Rechnung getragen werden. Die erreichbare Genauigkeit beträgt heute etwa $0{,}5\,^0/_{00}$. Vor kurzem wurde mit den gleichzeitigen ballistischen und

---

[1]) Steinhaus, Kußmann. [2]) Steinhaus.
[3]) Kußmann, R. Jaeger.

magnetometrischen Beobachtungen begonnen, doch sind infolge der Nachwirkungserscheinungen (magnetische Viskosität) der Proben neue Schwierigkeiten aufgetreten.

121. Einfluß der chemischen Zusammensetzung u. thermischen Behandlung auf die Magnetisierbarkeit ferromagnetischer Metalle u. Legierungen.

a) Allgemeines.

Die Einrichtung des Laboratoriums wurde durch die Beschaffung eines großen Metallmikroskops ausgebaut. Über die in der Reichsanstalt gebaute kleine Vakuum-Hochfrequenz-Schmelzeinrichtung ist im Laufe des Jahres eine kurze Veröffentlichung erschienen (Anh. 1, Nr. 84). Eine Menge Anfragen und Besichtigungen bewiesen das Interesse und das vorliegende Bedürfnis nach einer solchen Anlage. Ein Ofen ähnlicher Art ist inzwischen für das Eisenhüttenmännische Institut der Technischen Hochschule in Berlin fertiggestellt worden. Sowohl für die Laboratorien der Reichsanstalt als auch für auswärtige Institute wurden zahlreiche Schmelzen hergestellt und thermische Behandlungen durchgeführt. Herr Direktor A. Stogoff vom Institut für Metallkunde in Leningrad arbeitete einige Wochen als wissenschaftlicher Gast im Laboratorium über Fe-Si-Legierungen.

b) Materialien mit mit hoher Anfangspermeabilität[1]).

Die Versuche über Materialien mit hoher Anfangspermeabilität (A. P.) wurden fortgesetzt. Eine erste Mitteilung über bisherige Resultate befindet sich im Druck (Anh. 1, Nr. 79). Sie enthält zunächst einen Bericht über eine aufgefundene Gesetzmäßigkeit zwischen der Koerzitivkraft und dem Anstieg der Permeabilität bei kleinen Feldstärken. Eine Reihe von Untersuchungen wurde an Materialien vorgenommen, die von den Firmen Heraeus Vakuumschmelze A.-G. in Hanau und den Glockenstahlwerken in Remscheid-Hasten in dankenswerter Weise zur Verfügung gestellt waren. Während reines Eisen nur eine Anfangspermeabilität von etwa 600 bis 700 aufweist, wurden bei Zusatz geringer Mengen von Si (etwa 0,5 %) wesentlich höhere Werte gefunden (bis 2000). Ähnliche Verhältnisse gelten bei Zusätzen von geringen Mengen Al und Mn. An einer großen Anzahl von Fe-Ni-Legierungen wurden ebenfalls spezifischer Widerstand, Anfangspermeabilität, Sättigungswert und Koerzitivkraft nach verschiedenen thermischen Vorbehandlungen bestimmt. Ebenso wie bei den obigen Legierungen ist auch hier der Anstieg der Magnetisierungskurve sehr steil und der Knick im sogenannten „Knie“ scharf ausgeprägt.

Eine genauere Untersuchung über die Ursache der außerordentlich hohen Anfangspermeabilität bei rasch abgekühlten reversiblen Fe-Ni-Legierungen wurde an den in der Reichsanstalt selbst hergestellten Proben aus Elektrolyteisen und -nickel durchgeführt. Eine Voruntersuchung zeigte die Einflüsse der restlichen Verunreinigung aus dem Tiegelmaterial und die fehlerhaften Ergebnisse infolge Kristallseigerung und mangelnder Homogenität der Proben. Es gelang, gut reproduzierbare Resultate zu erhalten und Legierungen mit Anfangspermeabilitäten bis etwa 14000 und Koerzitivkräften bis herunter zu 0,018 Gauß, dem bislang wohl überhaupt kleinsten gemessenen Wert, herzustellen. Für die ursprünglich in der Reichsanstalt aus einigen Versuchen abgeleitete Annahme, daß eine nur bei höheren Temperaturen stabile Verbindung, etwa $FeNi_3$, der Träger der hohen A. P. rasch abgekühlter Legierungen sein könne, hat sich bisher kein weiterer Anhaltspunkt finden lassen. In gleicher Weise zeigte sich aber durch die von A. Schulze an diesen Legierungen durchgeführten Parallelversuche, daß auch die von Mc Keehan vertretene Theorie des Zusammenhanges der hohen A. P. mit dem Verschwinden der Magnetostriktion nicht zutreffen kann. Auch ließ sich durch mikrographische Untersuchung zeigen, daß die hohen Werte keineswegs mit der Korngröße im Zusammenhang stehen.

Untersucht wurden ferner Fe-Ni-Legierungen mit geringen Mn-Zusätzen, welche ähnliche Eigenschaften wie die reinen Legierungen zeigten, sowie Ni-Mn-Legierungen, bei denen ebenfalls eine beträchtliche Steigerung der Anfangspermeabilität bis zu 2000 beobachtet wurde.

c) Heuslersche Legierungen[2]).

Neu in Angriff genommen wurde eine Untersuchung über die Heuslerschen Al-Cu-Mn-Legierungen. Bei ihnen werden die im Laufe der thermischen Behandlung auftretenden Änderungen der Sättigungswerte und der Koerzitivkräfte bisher durch die bekannte Theorie der Richarzschen Komplexe gedeutet, derzufolge bei langsamer Abkühlung oder Alterung ein Polymerisationsvorgang eintreten soll, der mit einer Verminderung der freien Richtbarkeit der Elementarmagnete verknüpft sei. Gestützt wurde diese rein atomare Deutung durch die ausführlichen, seinerzeit in Marburg durchgeführten Alterungsversuche. Es ließ sich jedoch zeigen, daß die Richarzsche Auffassung

[1]) Steinhaus, Kußmann, Scharnow, Gumlich als Gast.

[2]) Kußmann, Scharnow.

der Komplexbildung mit einer Reihe von Tatsachen in Widerspruch steht und daß die Koerzitivkraftänderungen im Laufe der Alterung wahrscheinlich durch das Auftreten und Wiederverschwinden von Eigenspannungen in oder zwischen den Kristalliten hervorgerufen werden. Diese Spannungen hätten ihre Ursache in dem Zerfall des bei höheren Temperaturen bestehenden Mischkristalls und dem Auftreten neuer Phasenbestandteile.

122. Herstellung ferromagnetischer Materialien mit hohem elektrischen Widerstand[1]. Die Untersuchungen über ferromagnetische Materialien mit hohem elektrischen Widerstand wurden fortgesetzt, doch haben sie bis jetzt noch zu keinem technisch brauchbaren Resultat geführt.

(Fortsetzung folgt.)

Einige Neukonstruktionen meteorologischer Instrumente.

Von
Olaf Devik in Trondjem.

I. Über die gleichzeitige Registrierung von Richtung und Geschwindigkeit des Windes.

1. Wie bekannt gibt es mehrere Typen von Windmessern, die in verschiedener Weise eine Bestimmung der Windgeschwindigkeit gestatten. Die drei wichtigsten Typen sollen hier einleitungsweise kurz erörtert werden.

a) Robinsons Anemometer. Bei diesem Instrument wird ein Schalenkreuz vom Winde in Rotation gesetzt, und zwar mit einer Winkelgeschwindigkeit, welche zu der Windgeschwindigkeit annähernd proportional ist. Das Instrument erlaubt daher eine Zeitbestimmung des sogenannten „Windweges", d. h. des vom Winde während einer bestimmten Anzahl Umdrehungen des Schalenkreuzes zurückgelegten Weges. Gewöhnlich wird diese Zeitbestimmung als elektrische Registrierung mit einem Chronographen ausgeführt; die Registrierkurve gibt dann nicht direkt die Geschwindigkeit an, sondern deren mittleren inversen Wert während des betreffenden Zeitintervalles:

$$\frac{1}{v} = k \cdot \Delta t .$$

b) Dines-Anemometer. Bei diesem Instrument wird die Sauge- und Stauwirkung des Windes benutzt, und die Druckdifferenz wird mit einem Differentialmanometer, welches auch als registrierend angeordnet sein kann, gemessen. Die Windgeschwindigkeit wird hier von der Registrierkurve direkt als Funktion der Zeit angegeben:

$$v = f(t).$$

c) Richard-Anemometer mit Dynamo. Ein vom Winde getriebener kleiner Propeller treibt eine kleine Dynamomaschine mit permanenten Feldmagneten; die erzeugte Polspannung V wird zu der Windgeschwindigkeit annähernd proportional sein und wird von einem registrierenden Voltmeter gemessen. — Die Registrierkurve gibt die Windgeschwindigkeit als Funktion der Zeit direkt an:

$$v = f(V) = f(t).$$

Als meteorologisches Instrument hat jeder von diesen Typen seine speziellen Vorteile und Nachteile. Das Anemometer von Robinson ist einfach gebaut und erlaubt elektrische Fernregistrierung, gibt aber andererseits nur Mittelwerte der Geschwindigkeit an. Das Anemometer von Dines dagegen gibt die Momentanwerte der Geschwindigkeit an, kann aber nur für Nahregistrierung benutzt werden, weil das Anemometer eine direkte Rohrverbindung mit dem Registrator haben muß. Das Anemometer Richard

---

[1]) Steinhaus, Scharnow, Gumlich als Gast.

mit Dynamo gestattet Fernregistrierung und gibt auch die Momentanwerte der Geschwindigkeit an, obwohl etwas ausgeglichen, weil die rotierenden Teile ein gewisses Trägheitsmoment haben.

Für alle drei Typen ist aber gemeinsam, daß nur die Geschwindigkeit, nicht die Richtung gemessen wird. Die Messung der Richtung wird gewöhnlich als eine mechanische Registrierung der Bewegungen einer Windfahne angeordnet. Fernregistrierung auf elektrischem Wege wird zwar auch teilweise benutzt, bei den gewöhnlichen Konstruktionen aber steigt die zu verwendende Anzahl von Leitungen proportional zu der verlangten Genauigkeit der Richtungsbestimmung. Eine einfache Lösung der Fernregistrierung der Richtung auf elektrischem Wege liegt bisher nicht vor.

2. Vom Standpunkt der dynamischen Meteorologie betrachtet ist die Windgeschwindigkeit vor allem ein Vektor, dessen Richtung ebenso wichtig wie seine Größe ist. Um einwandfreie Messungen zu erhalten, müssen in sehr vielen Fällen die Meßinstrumente für den Wind in einer gewissen Entfernung von der meteorologischen Station aufgestellt werden. Es kommt also hier vor allem elektrische Fernmessung oder Registrierung in Betracht, und diese muß in einfacher Weise mit möglichst wenigen Leitungen angeordnet sein. — In dem folgenden wird ein neues Konstruktionsprinzip angegeben, welches den aufgestellten Forderungen genügt. Es soll in Anwendung auf das Robinson-Anemometer beschrieben werden, weil hier die Konstruktion besonders einfach ist.

Bei dem Robinson-Anemometer wird die Messung der Windgeschwindigkeit durch eine Messung einer Winkelgeschwindigkeit ersetzt. Aus praktischen Gründen wird die zu messende Winkelgeschwindigkeit durch eine passende Übersetzung herabgesetzt. (Wenn in dem Folgenden von Winkelgeschwindigkeit oder von Radiusvektor gesprochen wird, ist diese reduzierte Winkelgeschwindigkeit gemeint.)

Die Winkelgeschwindigkeit wird zu der Windgeschwindigkeit proportional sein; der beschriebene Winkel wird zu dem zurückgelegten Windwege proportional und wird bei jeder Umdrehung des Radiusvektors um 2π zunehmen. Verstreicht während einer beliebigen Umdrehung eine Zeit $T_n - T_{n-1}$, kann die Winkelgeschwindigkeit während dieses Zeitintervalles annähernd als konstant betrachtet werden. Es folgt also

$$\frac{d\alpha}{dt} = \omega = \frac{2\pi}{T_n - T_{n-1}},$$

was um so genauer gilt, je kleiner die Umsetzung des Instrumentes ist. Nach dem Verlauf einer Zeit $T_{n-1} + t$, wo $t < T_n - T_{n-1}$, wird dann der Radiusvektor einen Winkel von der Nullstellung beschrieben haben

$$\alpha_t = \frac{t}{T_n - T_{n-1}} \cdot 2\pi,$$

d. h. die augenblickliche Stellung des Radiusvektors von der Nullstellung aus gerechnet ist durch die zwei Zeitbestimmungen t und $T_n - T_{n-1}$ angegeben.

Wird durch den Radiusvektor, jedesmal wenn die Nullstellung passiert wird, ein elektrischer Kontakt eines Stromkreises I gebildet (Abb. 1), so wird eine Registrierung dieser Kontakte mittels eines Chronographen die sukzessiven Intervalle $T_n - T_{n-1}$ geben, wie es gewöhnlich bei einem Robinson-Anemographen geschieht. Die Länge jedes Intervalles auf der Registrierkurve ist dann $= 2\pi$, wenn eine Maßeinheit proportional zu der Länge des Intervalles, d. h. umgekehrt proportional zu der Windgeschwindigkeit, benutzt wird. Jedes Intervall auf der Registrier-

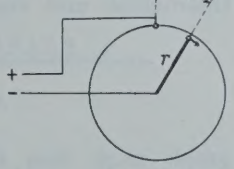


Abb. 1. r Radiusvektor.

kurve kann man sich daher als geteilt in eine Skala $0 - 2\pi$ oder $0^0 - 360^0$ denken. Der einzelne Teilstrich wird dann außerdem die Stellung des Radiusvektors zu einem bestimmten Zeitpunkt angeben. Dadurch läßt sich die Windrichtung eindeutig bestimmen. Zu diesem Zweck wird das Instrument so konstruiert, daß die Windfahne um dieselbe Achse drehbar ist wie der Arm, der den Radiusvektor repräsentiert, und es wird eine elektrische Kontaktvorrichtung so angeordnet, daß der betreffende Arm einen Kontakt in einem Stromkreis II schließt, wenn der Arm eben die Verlängerung der Windfahne passiert (Abb. 2). Ist der Chronograph so gebaut, daß die Schreibfeder während dieses Kontaktes einen Strich abwärts zeichnet, dann wird die Stellung der Fahne von der Nullstellung aus gerechnet eindeutig bestimmt sein durch den entsprechenden Platz des Striches in dem Intervalle zwischen zwei Kontaktstrichen der festen Nullrichtung (Abb. 3).

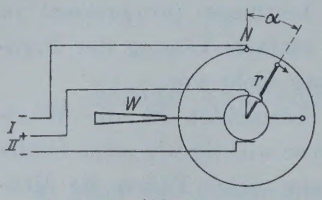


Abb. 2.
r Radiusvektor, W Windfahne, N feste Richtung (Nord).

Man hat also als Resultat:

Die Windgeschwindigkeit wird umgekehrt proportional zu dem Abstande zwischen zwei aufwärts gerichteten Strichen der Registrierkurve sein, und die Windrichtung wird durch die Stelle des abwärts gerichteten Striches in demselben Intervall angegeben sein, wenn die Länge dieses Intervalles als eine lineare Winkelskala mit zirkulärer Teilung betrachtet wird.

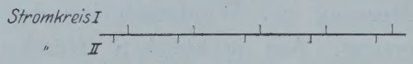


Abb. 3.

Wenn die feste Nullstellung, welche durch die Richtung Kontaktpunkt I ⟶ Hauptachse (siehe Abb. 2) angegeben ist, z. B. in die Nordrichtung orientiert wird, und wenn der Radiusvektor in die Richtung $N—E—S—W—N$ bewegt wird, dann gibt die Registrierkurve unter Anwendung der Skala 0—32 die Richtung in der gewöhnlichen Weise an. Später wird angegeben, wie die Ablesung der Registrierkurve in der Praxis erreicht werden kann.

3. Die gleichzeitige Registrierung von Geschwindigkeit und Richtung ist durch die in den vorigen Abschnitten angegebene Konstruktion prinzipiell gelöst. Es ist von Interesse zu bemerken, daß nach den gewöhnlichen Methoden die Geschwindigkeit und die Richtung getrennt gemessen werden als Funktionen der Zeit (Abschnitt 1),

$$v = f_1(t), \qquad \alpha = f_2(t),$$

während nach der oben beschriebenen Methode die Richtung als Funktion der Geschwindigkeit und der Zeit angegeben wird:

$$\alpha = f(v, t, \alpha_0),$$

wo α_0 eine feste Richtung ist.

Dies ist scheinbar eine Komplikation des Problemes, gibt aber ein einfaches Instrument und eignet sich vortrefflich für elektrische Fernregistrierung. Ein Anemo-

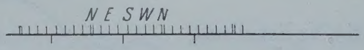


Abb. 4.

Abb. 5.

graph nach dem beschriebenen Prinzip gebaut, wird für Fernregistrierung nur zwei Stromkreise brauchen; da eine Leitung gemeinsam sein kann, werden drei Leitungen genügen, oder eventuell zwei Leitungen nebst Erdleitung.

4. Die oben beschriebene Ausführung des Meßprinzipes kann natürlich in verschiedener Weise variiert werden. So kann man, z. B. durch Anwendung mehrerer

fester Kontakte, wovon der eine hervorgehoben (z. B. doppelt) sein muß die Richtungsskala auf die Registrierkurve direkt markieren. Bei z. B.

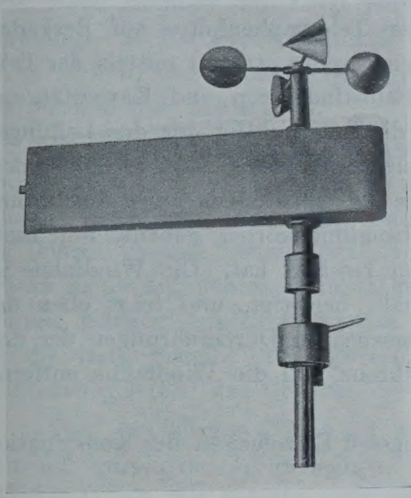


Abb. 6.

8 Kontakten würde die Kurve aussehen wie in Abb. 4.

Es sei auch bemerkt, daß man die Anzahl der Leitungen sogar auf eine Leitung + Erdleitung herabsetzen

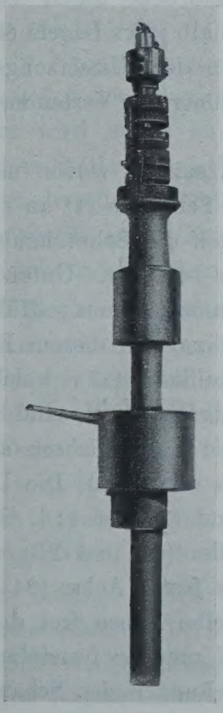


Abb. 7.

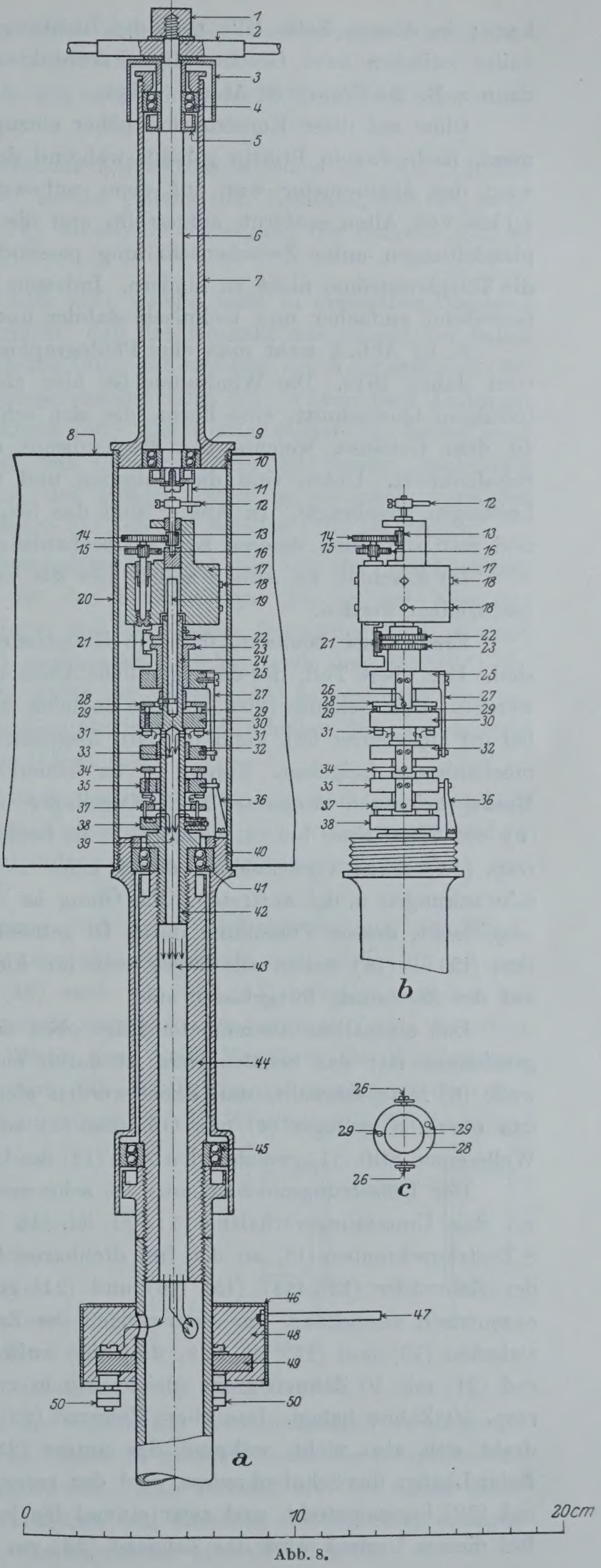


Abb. 8.

kann; in diesem Falle läßt man die Richtungsskala nur die erste Hälfte des Intervalles zwischen zwei Geschwindigkeitskontakten umfassen; eine Registrierung würde dann z. B. die Form von Abb. 5 haben.

Ohne auf diese Konstruktion näher einzugehen, sei hier erörtert, daß ein Instrument, nach diesem Prinzip gebaut, während der Jahre 1917—19 in Alten im Betrieb war; das Anemometer war auf einer unbewohnten Telegraphenhütte auf Beskades, 40 km von Alten entfernt, aufgestellt, und die Registrierung geschah mittels der Telephonleitungen unter Zwischenschaltung passender Selbstinduktion und Kapazität, um die Telephonströme nicht zu hindern. Indessen ist die Konstruktion für drei Leitungen bedeutend einfacher und technisch stabiler und soll daher näher beschrieben werden.

5. In Abb. 6 sieht man eine Photographie des Anemometers in einer Ausführung vom Jahre 1919. Die Windfahne ist hier als Stromlinienkörper gebaut, mit fischförmigem Querschnitt, eine Form, die sich sehr gut bewährt hat. Die Windfahne ist an dem Gehäuse, welches den Mechanismus enthält, befestigt, und trägt oben das Schalenkreuz. Unten sind die isolierten und wasserdichten Durchführungen der drei Leitungen angebracht. In Abb. 7 sind das Schalenkreuz und die Windfahne entfernt, und man sieht den inneren Kontaktmechanismus.

Im Anschluß an Abb. 8 sollen hier die wichtigsten Einzelheiten der Konstruktion beschrieben werden.

Erstens sei bemerkt, daß die Hauptteile jeder für sich leicht herauszunehmen sind. Der obere Teil, der das eigentliche Anemometer bildet, kann bei (10) losgeschraubt werden. Das Gehäuse (20), welches zugleich die Windfahne trägt (deren Seitenfläche bei (8) angedeutet ist), kann bei (40) losgeschraubt werden. Dadurch ist der Kontaktmechanismus freigelegt. Ferner ist zu bemerken, daß alle Lager, welche erheblichen Beanspruchungen ausgesetzt sind, Kugellager haben; so das Anemometer bei (4) und (9), die Windfahne bei (41) und (45). In beiden Fällen ist das untere Kugellager (9) resp. (45) etwas verschiebbar, damit keine störende Axialdrücke durch Temperaturschwankungen u. dgl. auftreten. Für Ölung ist dicht unterhalb jedes Lagers eine Büchse angebracht, dessen Filzfüllung durch Öl getränkt wird. An dem Umsetzungsmechanismus (12) bis (18) stehen alle Lager auch mit kleinen Ölkammern in Verbindung, welche auf der Zeichnung fortgelassen sind.

Das eigentliche Anemometer trägt oben das Schalenkreuz (2), wovon nur ein Teil gezeichnet ist; das Schalenkreuz ist durch eine kräftige Schraube (1) an eine Stahlwelle (6) festgeschraubt, und dabei werden gleichzeitig auch die Schutzhaube (3) und das obere Kugellager (4) mit Ölbüchse (5) an die Welle befestigt. Unten trägt die Welle einen Stift (11), welcher den Arm (12) des Umsetzungsmechanismus mitführen kann.

Der Umsetzungsmechanismus ist sehr zusammengedrängt bei diesem Instrument, wo das Umsetzungsverhältnis 1:500 ist. In einem Metallkopf (17), welcher durch 8 Zentrierschrauben (18) an der frei drehbaren Achse (19) befestigt ist, sind die Wellen der Zahnräder (13), (14), (15), (16) und (21) gelagert. (Die Lagerbüchsen sind etwas exzentrisch verstellbar, um Justierungen der Zahnräder zu erlauben.) Die Umsetzung zwischen (13) und (14) ist 1:5, diejenige zwischen (15) und (16) ist 1:4. Das Zahnrad (21) mit 10 Zähnen greift gleichzeitig in zwei Zahnräder (22) und (23), welche 52 resp. 50 Zähne haben. Das obere Zahnrad (22) ist an der festen Achse (24) befestigt, dreht sich also nicht, während das untere (23) um dieselbe Achse frei drehbar ist. Beim Laufen des Schalenkreuzes wird der ganze Metallkopf um das feststehende Zahnrad (22) herumgedreht, und zwar einmal für je 20 Umdrehungen des Schalenkreuzes. Bei diesem Umlauf wird das Zahnrad (23) um 2 Zähne verschoben. Da es 50 Zähne

enthält, wird es eine ganze Umdrehung machen während 500 Umdrehungen des Schalenkreuzes.

(Dasselbe Umsetzungsverhältnis ließe sich natürlich auch z. B. durch zwei Schneckengetriebe erreichen.)

Beim Zahnrad (23) fängt der eigentliche Kontaktmechanismus an. Mit (23) fest verbunden ist die Preßspanscheibe (25), welche erstens den Kontaktbügel (28) trägt (siehe Abb. b) und zweitens den Arm (27), welche die Bewegung der Scheibe (23) an die Scheibe (32) übermittelt.

Der Kontaktbügel (28) hat zwei Stifte (29), welche nicht in demselben Diameter liegen (siehe Abb. c); dadurch wird erreicht, daß der Kontakt nur einmal bei jedem Umlauf geschlossen wird. Die feste Scheibe (30), auf welcher der Kontaktbügel (28) bei seinem Umlauf gleitet, hat zwei entsprechende Stifte (31), wovon zwei Leitungsdrähte in die durchbohrte Hauptachse führen (33). Der Kontaktbügel (28) ist an zwei Spitzen gelagert, wodurch erreicht wird, daß die zwei Stifte (29) immer gleichmäßig an die feste Scheibe (30) drücken. Um den nötigen Druck zu erreichen, kann der Kontaktbügel (28) das Gewicht der Scheibe (25) an die Scheibe (30) übertragen.

Von der Scheibe (32) wird der bewegliche Kontakt, der von der Windrichtung abhängt, gesteuert. In derselben Art wie der Kontaktbügel (28) ist der Kontaktbügel (34) mit der Scheibe (32) verbunden und folgt deren Bewegung. Die „festen“ Kontaktstifte sind an der Scheibe (35) angebracht, welche durch den Arm (36) der Windfahne in ihrer Bewegung folgt. Die Stifte der Scheibe (35) haben dann eine bewegliche Verbindung (37) mit den zwei Kontaktringen der Scheibe (38), wovon zwei Leitungsdrähte in die durchbohrte Achse führen (39).

Die vier Leitungen (43) werden nach unten geführt; innerhalb der Dose (46) sind an der isolierenden Platte (49) drei Klemmschrauben (50), wobei zwei der Leitungen an dieselbe Klemmschraube verbunden werden. Nachher wird die Dose mit Isoliermasse gefüllt.

Für die Orientierung der Befestigung wird zuerst diejenige Stellung der Windfahne bestimmt, bei welcher die zwei Hauptkontakte gleichzeitig sind; dies soll Nordwind angeben; es wird daher an die Dose (46) auch ein Stift (47) befestigt, welcher bei der erwähnten Stellung der Windfahne gerade unterhalb des vorderen Teiles derselben steht und in derselben Richtung zeigt. Wenn dann beim Montieren des Windmessers dieser Anzeigestift gegen Nord gestellt wird, fällt der Richtungskontakt mit dem Geschwindigkeitskontakt in dem Augenblick zusammen, wo die Windfahne N-Wind anzeigt.

6. Als Registrator für die beschriebene Konstruktion kann ein Chronograph mit zwei Schreibfedern benutzt werden. Es läßt sich jedoch auch nur eine Schreibfeder benutzen, wenn die Feder durch zwei getrennte Elektromagnete sowohl aufwärts wie abwärts bewegt werden kann. In Abb. 9 ist eine Konstruktion angegeben, wodurch dieses in einfacher Weise erreicht wird.

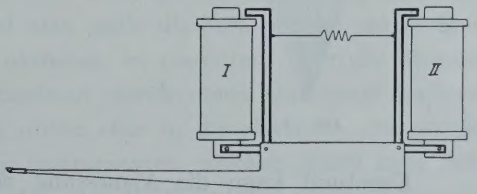


Abb. 9

In der Nullage zeichnet die Feder die Grundlinie; bei Stromschluß im Magnet I wird die Feder gehoben, bei Stromschluß im Magnet II gesenkt, indem der entsprechende Anker an den erregten Magneten gezogen wird. Man erreicht also bei dieser Konstruktion eine Registrierung von Geschwindigkeit und Richtung mittels einer einzigen Schreibfeder. Ein Beispiel eines solchen Chronographen gibt die Abb. 10.

7. Um aus der Registrierkurve die Geschwindigkeit zu bestimmen, benutzt man wie gewöhnlich eine inverse Skala, welche entweder direkt, oder unter gleichzeitiger Verwendung eines Reduktionszirkels benutzt wird.

Um die Richtung zu messen, kann man einen eingeteilten Meßsektor verwenden, der auf Zelluloid oder Glas aufgetragen ist (Abb. 11).

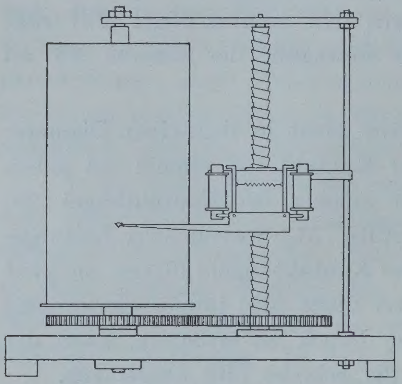


Abb. 10.

Der Meßsektor wird dann einfach quer zur Registrierkurve in der Weise angebracht, daß die Grenzlinien die betreffenden Intervallmarken gerade decken. Wenn diese Messung bei zu kleinen Intervallen erschwert wird, kann man folgendes Hilfsinstrument benutzen (Abb. 12):

Ein Lineal L mit einem drehbaren Arm A trägt eine Teilung 00—32 (oder 0—360°); an dieser Teilung entlang kann ein rechter Winkel W geführt werden, dessen zweite Kante in Millimeter geteilt ist. Mit diesem Instrument bildet man jetzt einfach eine geometrische Proportionalität folgenderweise:

A. Der Winkel W wird ganz nach rechts geschoben, die Länge des Intervalles (a) auf die Millimeterteilung durch den drehbaren Arm fixiert.

B. Bei festgeschraubtem Arm wird dann der Abstand zwischen Intervallanfang und Richtungsmarke (b) auf die Millimeterteilung markiert und der Winkel W nach links geschoben, bis der Arm A an diese Marke gekommen ist. Dann wird die Richtung an der Richtungsskala durch die Winkelkante angegeben sein (vgl. Abb. 12).

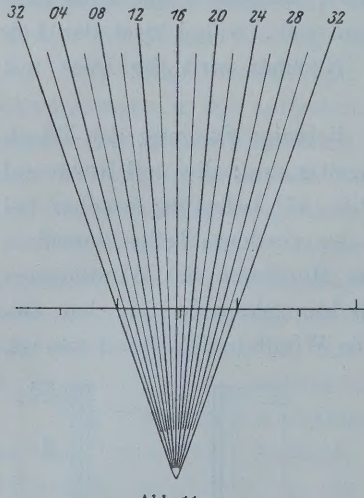


Abb. 11.

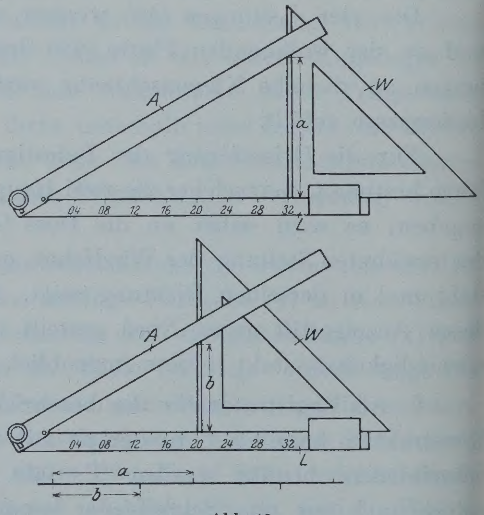


Abb. 12.

Eventuell kann die Abmessung der Intervalle a und b mit einem Reduktionszirkel geschehen und die Meßoperationen A. und B. mit den vergrößerten Längen vorgenommen werden.

II. Eine neue Form des „Wolkenrechens".

1. Die gewöhnlich verwendete Form des Wolkenrechens hat ein Querstück mit einer Reihe equidistanter „Zähne", und die Messung der Wolkenbewegung besteht darin, daß man das Querstück parallel zu der Bewegungsrichtung der Wolken einstellt

und gleichzeitig die Zeit mißt, welche ein Teil der Wolke braucht, um von einem Zahn zum nächsten zu passieren.

Die Forderungen an eine derartige Messung sind hauptsächlich zwei: 1. Das Querstück sollte so konstruiert sein, daß die Abgrenzung eines Wolkenteiles erleichtert wird, weil ein ausgeprägter „Punkt“ der Wolke während der Bewegung oft geändert wird.

2. Da die Genauigkeit der Messung mit dem Zenithwinkel rasch abnimmt, sollte der Wolkenrechen durch seine Form Messungen in der Nähe von Zenith begünstigen und Messungen in der Nähe des Horizontes erschweren.

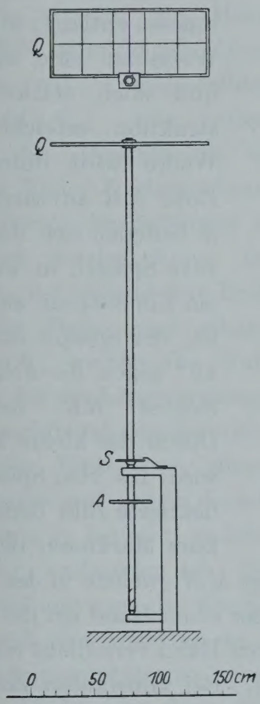


Abb. 13.

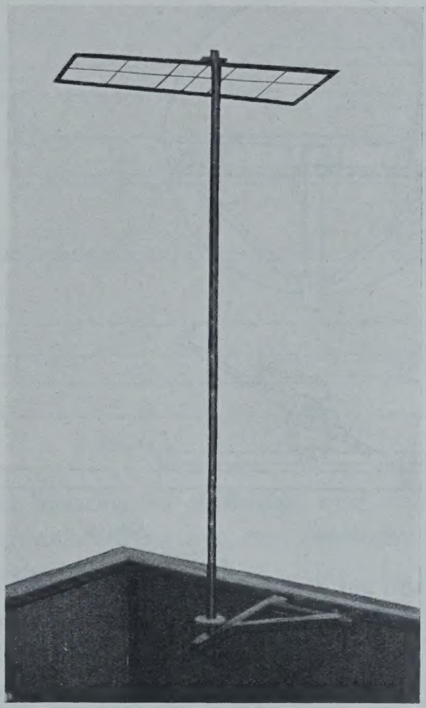


Abb. 14.

3. Diese Forderungen werden von dem Wolkenrechen der Abb. 13 erfüllt. Das Querstück besteht hier von einem Drahtnetz rektangulärer Form, dessen Ebene horizontal ist. Bei der Messung wird der mittlere Draht des Drahtnetzes parallel zur Bewegungsrichtung der Wolken eingestellt und man mißt die Zeit, welche ein Wolkenteil braucht, um von einem Quadrant zum nächsten zu passieren. Für die Messung kleiner Geschwindigkeiten ist der mittlere Quadrant durch einen Querdraht halbiert.

Der Wolkenrechen trägt wie gewöhnlich unten eine in die Skala 00—32 geteilte Scheibe *S* und einen Arm *A* zum Drehen des Instrumentes, welcher durch zwei Seile betätigt wird. Abb. 14 zeigt eine Photographie des Wolkenrechens am Turm des Geophysikalischen Instituts in Tromsö.

III. Einfacher Wolkentheodolit.

1. Im Prinzip ist der Theodolit direkt projizierend; es wird punktweise eine Kurve aufgezeichnet, welche der von der anvisierten Wolke beschriebenen Bahn ähnlich ist. Bei der Konstruktion wurde von der Erfahrung Gebrauch gemacht, daß es beim Anvisieren einer Wolke von Vorteil ist, wenn das gespiegelte Bild der Wolke

verkleinert wird; dadurch wird das Gesichtsfeld vergrößert und die Kontraste des Wolkenbildes treten schärfer hervor. Zu diesem Zweck wird einfach als Spiegel eine konvexe versilberte Kugelfläche benutzt (Brillenglas). Die Konstruktion ist dann die folgende (Abb. 15).

Auf einem Stativ ist eine plane, kreisförmige Holzscheibe, *B*, horizontal aufgestellt, auf welche ein Zeichenpapier befestigt wird. Die Holzscheibe hat im Zentrum bei *A* einen festen Stift, um welchen sich der Theodolit drehen kann; dieser Stift ist jedoch keine tragende Achse, die plane Holzscheibe selbst trägt den Theodolit, welcher auf drei Räderchen *r* ruht. Diese Räderchen rollen bei der Bewegung des Theodoliths an der Kante der Holzscheibe entlang; in dieser Weise ist eine einfache und doch starke Konstruktion erreicht. Die Wolke wird durch das Rohr *RR* anvisiert. Bei *S* befindet sich der konvexe Spiegel, in welchem ein Linienkreuz eingeätzt ist; der Spiegel ist unter 45° gegen die Achse des Rohres *RR* befestigt. Durch das kleine Loch *L* wird das vom Spiegel reflektierte Bild betrachtet. Zum Markieren der Wolkenbahn auf dem Papier dient die unten fein gespitzte Stange *MM*, welche in der Visierrichtung leicht verschiebbar ist. Beim Visieren faßt man mit der einen Hand um die Stange *MM* und stellt dadurch den Höhenwinkel ein; mit der anderen Hand verschiebt man das Rohr *RR* an die Seite und stellt dabei den Azimuth ein. Bei konstanten Zeitintervallen, z. B. jede Minute, wird dann mit der Stange *MM* ein Punkt auf das Papier gemacht.

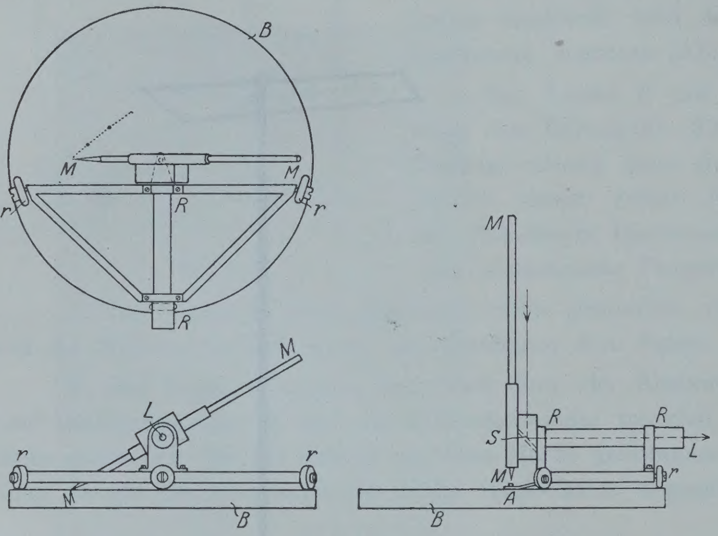


Abb. 15.

Die auf Grund der so projizierten Bahn auszuführende einfache Berechnung der Winkelgeschwindigkeit und Richtung der Wolkenbewegung braucht hier nicht erörtert zu werden.

IV. Haarhygrometer mit mikrometrischer Längenmessung.

1. Alle Haarhygrometer sind im Prinzip Instrumente für Messung einer Länge, welche mit der Feuchtigkeit variiert. Diese Messung wird an den gewöhnlich verwendeten Konstruktionen in der Weise ausgeführt, daß ein Haarbündel durch eine Übersetzung mit einem beweglichen Zeiger verbunden ist, wodurch die Längenänderung an einer Skala abgelesen werden kann. Bei allen diesen Konstruktionen muß das Haarbündel einer gewissen Zugkraft ausgesetzt sein, um die nötige Direktionskraft an den Zeiger ausüben zu können. Diese Zugkraft ist aber keine konstante Größe, da sie von den Wetterverhältnissen, z. B. von Tau und Eisbildung an dem Instrument, beeinflußt wird. Speziell in Gegenden, wo die Temperatur häufig um 0° C schwankt, ist dieser Umstand für das Haarhygrometer sehr nachteilig. An den meteorologischen Stationen im nördlichen Norwegen ist aus diesem Grunde während mehreren Jahren eine neue

Konstruktion benutzt worden, wo man eine direkte Längenmessung mit Mikrometer ausführt, und zwar unter solchen Bedingungen, daß das Haarbündel keine Direktionskraft auf bewegliche Teile ausübt, sondern nur einer konstanten Zugkraft im Moment der Ablesung ausgesetzt wird. Eine Temperaturkompensation ist auch vorgesehen; es muß ja berücksichtigt werden, daß ohne solche Kompensation ein Fehler der Feuchtigkeitsmessung von 4—5 % bewirkt werden kann.

2. Die Konstruktion geht aus der Skizze Abb. 16 hervor. Der Kopf der Mikrometerschraube M hat eine Kreisteilung 0—100. Durch die kleine Schraube s wird nur eine einzige Umdrehung der Mikrometerschraube erlaubt, wodurch das Haarbündel gegen Abreißen geschützt ist. Durch die Mikrometerschraube wird die Aufhängestange S geführt, an der das Haarbündel H befestigt ist. Diese Stange hat Feineinstellung (S_s und S_m). Das andere Ende des Haarbündels ist an der Feder F, deren Spannung durch die Schraube F_s reguliert werden kann, befestigt. An dem oberen Ende hat die Feder eine scharfe Kante k_1, welche die Nullmarke für die Längenmessung des Haarbündels repräsentiert. Um die Einstellung dieser Nullmarke auf genau derselben Stelle bei jeder Messung zu erreichen, wird eine Einstellkante k_2 benutzt, welche mit der Parallelogrammführung der zwei federnden Arme f_1 und f_2 verbunden ist. Diese Federn sind derart gespannt, daß die Kante k_2 in der Ruhestellung von der Kante k_1 entfernt ist. Die Bewegung der Parallelogrammführung ist durch den Anschlag an das Rohr R_2 begrenzt. Mit dem Druckknopf K kann die Parallelogrammführung herabgedrückt werden, so daß die Kante k_2 über die Kante k_1 greift. Dreht man dann den Mikrometerkopf M, so wird die Kante k_1 an der Kante k_2 entlang gleiten, bis die beiden Kanten aneinander vorüberspringen. In diesem Moment springt die Parallelogrammführung mit einem Schlag gegen die Röhre R_2 zurück. Dieser Schlag markiert, daß die Nullmarke des Haarbündels eben eingestellt ist. Liest man in demselben Moment die Stellung des Index (i) an der Mikrometerskala ab, hat man ein Maß für die Länge des Haarbündels. Die Justierung der Skala und die Aufstellung einer Feuchtigkeitstabelle für das Instrument braucht nicht näher erörtert zu werden.

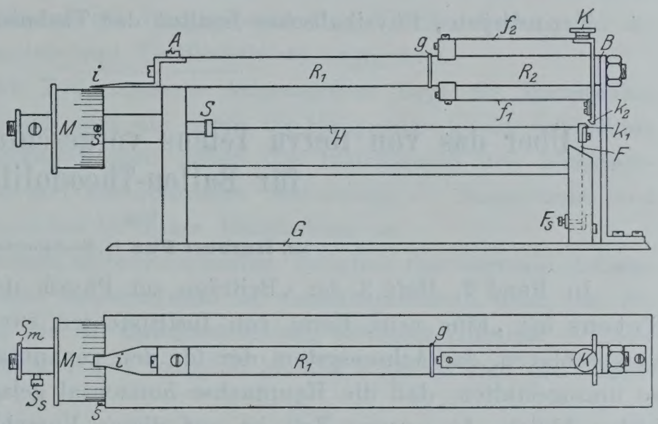


Abb. 16.

Die Temperaturkompensation wird erreicht durch Anwendung einer Nickelstahlstange als Träger der Parallelogrammführung, welche an dem Ende der Stange bei B befestigt ist. Die Nickelstahlstange ist bei A befestigt und liegt innerhalb der Röhren R_1 und R_2, um gegen Feuchtigkeit geschützt zu sein. Ein Gummiring g am freien Ende der Röhre R_2 verhindert das Eindringen von Wasser, gestattet jedoch die Längenausdehnungen der Röhren.

Eine Messung mit diesem Hygrometer wird also folgendermaßen ausgeführt. Der Druckknopf K wird herabgedrückt, bis die Kanten k_1 und k_2 umeinander greifen; dann wird der Mikrometerkopf M langsam herumgedreht, bis k_1 und k_2 gerade aneinander vorüber gleiten, so daß der Druckknopf K wieder hervorspringt; alsdann wird die Skala

abgelesen. Schließlich wird der Mikrometerkopf wieder in die Nullstellung zurückgedreht, damit das Haarbündel keine dauernde Spannung erfährt. Durch Anwendung der Korrektionstabelle des Instrumentes findet man dann die relative Feuchtigkeit.

(Für die Genauigkeit der Ablesung ist es von geringer Bedeutung, daß das Haarbündel bei der Ablesung ein wenig tordiert wird; es ist jedoch leicht durch eine kleine Schlittenführung der Befestigungsstange des Haarbündels dieser Torsion zu entgehen.)

Die Konstruktionen, welche oben in den Abschnitten I—IV beschrieben sind, wurden während der Jahre 1917—19 an dem Haldde-Observatorium und am Geophysikalischen Institut in Tromsö fertiggestellt.

Trondhjem, Physikalisches Institut der Technischen Hochschule.

Über das von Herrn Tetens vorgeschlagene Achsensystem für Ballon-Theodolite.

Von

Dr. **Herbert Fuß** in Neubabelsberg.

In Band 7, Heft 3 der „Beiträge zur Physik der freien Atmosphäre“ hat Herr Tetens in: „Eine neue Form von Instrumenten zur Verfolgung von Pilotballonen“ vorgeschlagen, das Achsensystem der für den genannten Zweck bestimmten Theodolite so umzugestalten, daß die Hauptachse horizontal gelagert wird, anstatt vertikal, wie bisher üblich. In neuerer Zeit ist auf diesen Vorschlag wiederholt hingewiesen und in Anregung gebracht worden, das Tetenssche Achsensystem namentlich auch bei solchen Instrumenten zur Anwendung zu bringen, die zur Ermittelung der Flugbahnen von Luftfahrzeugen bestimmt sind.[1])

Mit Rücksicht auf die erhebliche Bedeutung, die den Methoden zur Flugbahnbestimmung für die Weiterentwicklung der Flugtechnik zukommt, mag ein kritischer Vergleich der Theodolite mit Tetensschen und mit normalem Achsensystem gerechtfertigt erscheinen.

Ursprünglich verstand man unter Theodoliten lediglich Instrumente, die zur Messung von Horizontalwinkeln und gegebenenfalls auch von Vertikalwinkeln dienen. Der Sprachgebrauch hat die Bedeutung des Wortes in neuerer Zeit sehr beträchtlich erweitert. Gegenwärtig versteht man wohl ziemlich allgemein unter einem Theodoliten ein Instrument, welches zum Messen von Richtungswinkeln von Richtungen nach irdischen Zielen dient. Die Richtungen werden durch die Lage der Zielbilder im Gesichtsfeld eines visuellen oder photographischen Fernrohres (Kamera) bestimmt, welches derart um eine zu seiner optischen Achse senkrechte Achse, die Nebenachse, gedreht werden kann, daß die optische Achse eine zu dieser Nebenachse senkrechte Ebene beschreibt, während die Nebenachse sich wieder um eine zu ihr senkrechte zweite Achse, die Hauptachse, drehen läßt. Bei Drehen um die Nebenachse beschreibt die optische Achse des Fernrohres eine Ebene, eine Hauptebene, die — u. U. von kleinen Abständen abgesehen — durch die Hauptachse hindurchgeht. Wird die Nebenachse und damit auch die optische Achse des Fernrohres um die Hauptachse gedreht, so dreht sich die

---

[1]) Ein Instrument dieser Art mit normalem Achsensystem — von mir angegeben — ist von mir in *dieser Zeitschr.* ***41.*** *S. 281—289. 1921* beschrieben worden. Es wird nach den dort gegebenen Anregungen mehrfach verbessert von den Askania-Werken A.-G. in Berlin-Friedenau hergestellt.

Hauptebene um die Hauptachse. Es sind ferner Einteilungskörper vorgesehen, — meist in Gestalt von zu den Achsen senkrecht angeordneten Teilkreisen, in neuerer Zeit aber auch häufig anderer Art, (vgl. z. B. ein kürzlich von Herrn Professor Moltchanoff in einer in russischer Sprache herausgegebenen Veröffentlichung beschriebenes Instrument) — an denen man einerseits den Neigungswinkel der durch die Fernrohrachse hindurchgehenden Hauptebene gegen eine bestimmte Anfangslage und den Richtungswinkel abliest, den die Fernrohrachse mit einer Anfangsrichtung in der betreffenden Hauptebene bildet (unter Fernrohrachse stets die optische Achse des Fernrohres verstanden).

Bei einem Theodoliten mit normalem Achsensystem steht die Hauptachse senkrecht, die Nebenachse liegt horizontal, die Hauptebenen sind Vertikalebenen, und die Richtungen werden durch Horizontal- und Vertikalwinkel angegeben.

Bei einem Theodoliten mit Tetensschem Achsensystem liegt die Hauptachse dagegen horizontal. Die Hauptebenen sind die durch die Hauptachse hindurchgehenden schiefen Ebenen. Als Richtungskoordinaten geben die Instrumente den Neigungswinkel der — durch Hauptachse und Fernrohrachse bestimmten — Hauptebene und den Richtungswinkel der Fernrohrachse in dieser Hauptebene an.

Für geodätische Zwecke kommt selbstverständlich lediglich das normale Achsensystem in Frage. Das Tetenssche Achsensystem ist dementsprechend auch nur für Theodolite vorgeschlagen worden, die zur Bahnbestimmung bewegter Luftziele — Pilotballons, Luftfahrzeuge usw. — dienen, und lediglich hierauf beziehen sich die folgenden Betrachtungen.

Die von den hier in Frage kommenden Instrumenten zu lösende Aufgabe besteht also darin, durch Anschnitt von zwei festen Standpunkten vom Erdboden aus in einem bestimmten Zeitmoment den Ort eines bewegten Luftzieles zu ermitteln.

In Abb. 1 bedeuten: A und B die beiden Standpunkte, F den Ort des Luftzieles im Raum, F_1 seine Projektion auf die die Erdoberfläche darstellende Horizontalebene — in der der Einfachheit halber auch die beiden Standpunkte angenommen sind — F' die Projektion von F auf die Verbindungslinie AB, die Basis. $(AB = b)$.

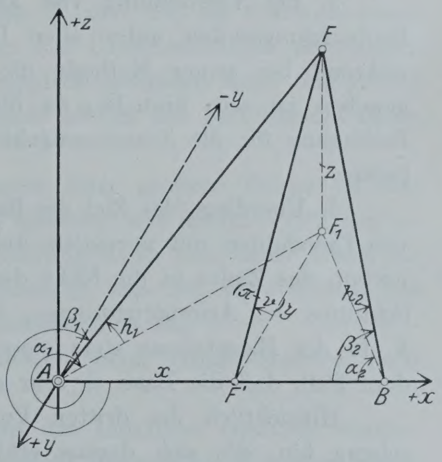


Abb. 1.

Mit Theodoliten mit normalem Achsensystem werden in A bzw. B — abgesehen von Indexverbesserungen die Horizontalwinkel α_1 und α_2 und die Höhenwinkel h_1 und h_2 gemessen. Nimmt man A als Nullpunkt, AB als x-Ache und die Horizontalebene durch A als xy-Ebene eines rechtwinkligen Parallelkoordinatensystems, so ist der Ort von F bestimmt durch die Formeln:

$$x = +b \operatorname{cosec}(\alpha_2 - \alpha_1) \sin \alpha_2 \cos \alpha_1 \qquad 1)$$

$$y = +b \operatorname{cosec}(\alpha_2 - \alpha_1) \sin \alpha_2 \sin \alpha_1 \qquad 2)$$

$$z = +b \operatorname{cosec}(\alpha_2 - \alpha_1) \sin \alpha_2 \operatorname{tg} h_1 \qquad 3)$$

$$z = -b \operatorname{cosec}(\alpha_2 - \alpha_1) \sin \alpha_1 \operatorname{tg} h_2. \qquad 3a)$$

Nach dem Vorschlag von Herrn Tetens sollen in A und B je ein Theodolit mit horizontaler Hauptachse aufgestellt werden. Die beiden Hauptachsen der Instrumente werden so eingerichtet, daß sie in der gemeinsamen Verbindungslinie von A

und B liegen, daß also die beiden Hauptachsen gewissermaßen die Verlängerungen der Basis bilden. Dadurch wird erreicht, daß beide Instrumente die Basis AB zur gemeinsamen Hauptachse haben. Wie man sofort sieht, ist alsdann die Ebene ABF gemeinsame Hauptebene und man liest — abgesehen von einer Indexkorrektion — an beiden Instrumenten den gleichen Neigungswinkel ν der Hauptebene gegen die xy-Ebene ab. Man erhält als Richtungskoordinaten also in A:

den Neigungswinkel $\pi - F_1 F' F = \nu$ und den Richtungswinkel $BAF = \beta_1$,

in B:

den gleichen Neigungswinkel ν und den Richtungswinkel $ABF = \beta_2$.

Der Ort von F ist gegeben durch:

$$x = + b \operatorname{cosec}(\beta_2 - \beta_1) \sin\beta_2 \cos\beta_1 \qquad 4)$$

$$y = - b \operatorname{cosec}(\beta_2 - \beta_1) \sin\beta_2 \sin\beta_1 \cos\nu \qquad 5)$$

$$z = - b \operatorname{cosec}(\beta_2 - \beta_1) \sin\beta_2 \sin\beta_1 \sin\nu. \qquad 6)$$

Die Vorzüge seines Achsensystems sieht Herr Tetens in folgenden drei Punkten:

1. Eine Probe für Zusammengehörigkeit und Richtigkeit der Beobachtungen auf beiden Standpunkten erhält man bei Verwendung von Theodoliten mit normalem Achsensystem erst am Schluß der Auswertung durch Übereinstimmung der beiden z-Werte (Formel 3 und 3a), während bei seiner Methode die Probe sofort dadurch gegeben sei, daß an beiden Standpunkten die gleichen Neigungswinkel ν beobachtet werden müssen.

2. Bei Verwendung von Theodoliten mit normalem Achsensystem müssen die Beobachtungszeiten unter allen Umständen auf beiden Standpunkten gegeben sein, während bei seiner Methode die Beobachtungszeit nur für den einen Standpunkt gegeben zu sein brauche, da die Gleichheit der ν-Werte bereits eine hinreichende Bedingung für die Zusammengehörigkeit der Beobachtungen auf beiden Standpunkten liefere.

3. Überfliegt das Ziel die Basis, so lasse sich der Ort des Zieles bei Verwendung von Theodoliten mit normalem Achsensystem nur ungenau bestimmen, sobald die Projektion des Zieles in die Nähe der Basis rücke, wegen des damit verbundenen spitzen Schnittes der Azimutrichtungen, während bei seiner Methode die Richtungswinkel β_1, β_2 in der Hauptebene stets einen scharfen Schnitt ergeben (abgesehen natürlich von dem Fall, daß die Basis in sehr geringer Höhe überflogen werde).

Hinsichtlich des dritten Punktes gibt sich Herr Tetens einer gewissen Täuschung hin, die sich daraus erklärt, daß er nur das graphische Auswerteverfahren betrachtet. In der Tat hindert ja nichts, in der Nähe der Basis die Azimute α und Höhenwinkel h in die Tetensschen Richtungskoordinaten ν und β umzurechnen, nach den Formeln:

$$\cot\nu = \sin\alpha_1 \cot h_1 \qquad 7)$$

$$\cos\beta_1 = \cos\alpha_1 \cos h_1, \qquad 8)$$

womit die von Herrn Tetens befürchtete Schwierigkeit des spitzen Schnittes für den Fall des normalen Achsensystems behoben ist.

Sieht man sich die Formel 1) bis 3a) an, so erkennt man, daß die von Herrn Tetens befürchtete Schwierigkeit darauf zurückzuführen ist, daß für den Fall der Annäherung der Projektion F_1 an die Basis in den Formeln 1) bis 3a) der Teil $\operatorname{cosec}(\alpha_2 - \alpha_1)\sin\alpha_2$ sich der unbestimmten Form $0 \cdot \infty$ nähert.

Daß sich Herr Tetens in Bezug auf Punkt 3 irrt, ist übrigens auch folgendermaßen einzusehen. Nimmt man den Punkt F genau senkrecht über der Basis AB an,

so geben die Azimute allerdings gar keinen Schnitt. Die beiden Höhen aber — die in diesem Falle mit den Tetensschen Richtungswinkeln identisch werden, — geben die Projektion von F_1 in aller Schärfe. Aus Stetigkeitsgründen muß F_1 aber auch in aller Schärfe erhalten werden können (z. B. durch die Umrechnung) wenn F_1 nur in der Nähe von AB liegt.

Punkt 2 wird als Vorzug für das Tetenssche Achsensystem nur in Frage kommen, wenn es sich um ganz einfache Pilotballonmessungen handelt, bei denen nur geringe Genauigkeit $^1/_5$ Grad und sehr mäßige Zeitfolge der Beobachtungen (1 Min.) verlangt wird. Wird eine größere Genauigkeit oder schnellere Zeitfolge verlangt, so wird man eine Zeitmessung auf beiden Standpunkten nie entbehren können, die übrigens gar keine Schwierigkeit hat, wenn man sich dazu des aus der astronomischen Praxis bekannten Chronographen bedient. (Vgl. *diese Zeitschr.* ***41.*** *S. 285—287. 1921.*)

Die Methode von Herrn Tetens, zusammengehörige Beobachtungen durch Übereinstimmung der ν-Werte zu finden, versagt vollständig, wenn das Ziel sich nahezu parallel zur Basis bewegt, was Herr Tetens selbst zugibt. Im übrigen wird sich — besonders wenn es sich um die Bestimmung der Bahn eines Luftfahrzeuges (Geschwindigkeitsmessung durch Vierecksflug) handelt — ein Überfliegen der Basis (Punkt 3) sehr viel leichter durch geeignete Disposition vermeiden lassen, als gelegentliches nahezu Parallelfliegen zur Basis.

Was endlich den unter 1 von Herrn Tetens zugunsten seines Achsensystems angeführten Umstand anbelangt, so dürfte meines Erachtens darin eher ein Nachteil, als ein Vorteil zu sehen sein. Da in beide Formeln 3) und 3a) für z sowohl beide Azimute als auch beide Höhen eingehen, so bürgt ein Übereinstimmen der beiden z-Werte, mögen sie nun rechnerisch, oder auch graphisch gefunden sein, mit großer Wahrscheinlichkeit dafür, daß beide Azimute und beide Höhen der betreffenden Beobachtung frei von gröberen Fehlern sind.

Bei der Methode von Herrn Tetens verraten sich gröbere Fehler in den β-Werten — die natürlich ebenso gut vorkommen können, wie in den ν-Werten — zunächst gar nicht. Bei der Methode von Herrn Tetens kann sich daher leicht ein gröberer Fehler in das Resultat unbemerkt einschleichen, was bei Verwendung von Theodoliten mit normalem Achsensystem sehr unwahrscheinlich ist.

Dem Tetensschen Achsensystem stehen indessen noch einige weitere noch schwerer wiegende Nachteile entgegen.

Durch die Theodolitbeobachtungen soll der Ort des Luftzieles ermittelt werden, gegeben durch seine Projektion auf eine die Erdoberfläche darstellende Horizontalebene und seine Höhe über derselben. Eine Ortsangabe in bezug auf ein anderes System ist fast immer wertlos.

Sind nun die beiden Theodoliten in gleicher Meereshöhe aufgestellt, — wie oben angenommen — so ist die Auswertung bei Verwendung von Theodoliten mit Tetensschem Achsensystem — wie Formel 4)—6) bzw. die von Herrn Tetens angegebene graphische Methode zeigt — zwar auch schon umständlicher, als wenn Theodolite normaler Bauart angewendet worden wären, aber immerhin noch durchführbar.

Es wird indessen nur sehr selten vorkommen, daß beide Theodolite in der gleichen Meereshöhe aufgestellt werden können. Sind mit Theodoliten normalen Achsensystems Azimut und Höhenwinkel gemessen, so bleibt die Auswertung genau so einfach, auch wenn die Instrumente nicht in der gleichen Meereshöhe aufgestellt worden sind. Es brauchen nur in den Formeln 3) und 3a) auf den rechten Seiten die additiven Konstanten Δz_1 und Δz_2 hinzugefügt zu werden (Δz_1 bzw. Δz_2 die Höhe des

betreffenden Standpunktes über der die Erdoberfläche darstellenden Horizontalebene). Werden aber Theodolite mit Tetensschem Achsensystem aufgestellt, so wird — da ein Ausgleich des Höhenunterschiedes durch besondere Pfeilerbauten nur in seltenen Ausnahmefällen in Frage kommen wird — die Auswertung recht umständlich.

Wie Herr Tetens durchaus zutreffend angibt, müssen in dem Fall ungleicher Höhe — wenn die Verwendung seines Achsensystems einen Sinn haben soll — ebenfalls die Hauptachsen der Theodoliten in die nunmehr geneigte Basis AB eingerichtet werden. Die gemeinsame Hauptachse der Theodoliten ist dann nicht mehr horizontal. Um nunmehr die Projektion des Luftzieles auf die Horizontalebene zu erhalten, muß entweder die von Herrn Tetens (S. 154 seiner Abhandlung) mitgeteilte Hilfskonstruktion angewendet werden, oder es müssen die an den Instrumenten abgelesenen Winkelwerte in Azimut und Höhe umgerechnet oder eine Koordinatentransformation ausgeführt werden.

Wenn nun auch eine solche Hilfskonstruktion oder Umrechnung im einzelnen an sich recht belanglos ist, — wie im oben erwähnten Falle des Überfliegens der Basis — so macht sie das ganze Verfahren recht zeitraubend und mühselig, wenn sie für jeden einzelnen Punkt durchgeführt werden muß. Sind bei einer einfachen Pilotballonmessung nur wenige einzelne Bahnpunkte zu ermitteln, so mag es noch angehen. Hat man aber, wie bei Flugzeugmessungen eine große Anzahl Punkte mit möglichster Genauigkeit zu ermitteln, so wird man die Auswertung so einfach wie irgend möglich gestalten müssen und jede nicht unbedingt nötige Hilfsrechnung — graphische Auswertung kommt hier überhaupt nicht in Frage — zu vermeiden suchen müssen, um das Material bewältigen zu können.

Von weiteren Nachteilen des Tetensschen Achsensystems sei noch folgender erwähnt.

Die Hauptachsen der Theodoliten mit Tetensschem Achsensystem müssen sehr genau in der geraden Verbindungslinie der beiden Standpunkte liegen. Diese Forderung macht die gegenseitige Sicht der beiden Standpunkte fast zur unerläßlichen Bedingung, da andernfalls bei jeder Aufstellung umständliche Azimutbestimmungen notwendig sein würden. Für Theodolite mit normalem Achsensystem ist dagegen die gegenseitige Sicht völlig belanglos. Hier ist nur gegenseitige Orientierung der Azimut-Nullrichtungen (Nullpunkte der Horizontalkreise) erforderlich, die stets durch Hilfsziele oder sonst ohne jede Schwierigkeit erreichbar ist.

Zwei für den jeweiligen Zweck geeignete Standpunkte mit gegenseitiger Sicht für die Theodolite zu finden ist durchaus nicht immer leicht oder möglich. Ich hatte vor einigen Jahren Gelegenheit Flugzeugmeßstationen in der Umgebung des Adlershofer Flugplatzes und am Müritzsee in Mecklenburg anzulegen. In beiden Fällen waren keine zwei geeignete Standpunkte mit gegenseitiger Sicht zu finden.

Zu beachten ist schließlich noch folgender recht ernster Nachteil des Tetensschen Achsensystems. Mit gelegentlichen Störungen bei dem einen oder anderen Instrument ist stets zu rechnen. Werden nur zwei Instrumente aufgestellt, so würden durch eine solche Störung bei dem einen Instrument die betreffenden Flugbahnpunkte nicht zu ermitteln sein, und die ganze Messungsreihe könnte wertlos werden. Bei Verwendung von Theodoliten mit normalem Achsensystem wird diese Schwierigkeit in einfachster Weise durch die auch sonst erwünschte Aufstellung eines dritten Instrumentes auf einem dritten Standpunkt überwunden. Bei einer Störung an einem Instrument bleiben alsdann stets auswertbare Beobachtungen von den beiden anderen Instrumenten übrig. Drei Theodolite mit Tetensschem Achsensystem müßten — falls

man nicht sehr umständliche Umrechnungen mit in Kauf nehmen will — so aufgestellt werden, daß alle drei Hauptachsen in der gleichen geraden Linie liegen, eine Forderung, die praktisch kaum erfüllbar sein wird. Erst durch Aufstellen von zwei Paar, also von 4 Theodoliten mit Tetensschem Achsensystem würde man, was die Sicherstellung der Messungsreihe anbelangt, das gleiche erreichen, wie durch Aufstellen von drei Theodoliten normaler Bauart.

Man könnte schließlich noch daran denken, drei Theodolite mit Tetensschem Achsensystem so aufzustellen, daß die Hauptachsen horizontal und parallel liegen. Dann hätte man die gleichen Verhältnisse, wie bei Theodoliten mit normalem Achsensystem, mit dem Unterschied, daß als Bezugsebene an Stelle der Horizontalebene eine zu den drei Achsen senkrechte Vertikalebene tritt. Hierdurch blieben aber die Hauptgesichtspunkte, die Herrn Tetens zu seinem Achsensystem geführt haben unbeachtet, und es wäre gegenüber Theodoliten mit normalem Achsensystem erst recht nichts gewonnen.

An Konstruktionen von Theodoliten mit Tetensschem Achsensystem sind mir zwei Typen bekannt geworden. Bei dem einen Typ, meines Wissens von der Firma Schmidt & Haensch in Berlin angefertigt, war in die Hauptachse H (Abb. 2) das Fernrohr F eingesetzt. Vor dem Fernrohrobjektiv war in dem um die Hauptachse H drehbaren Kubus K das total reflektierende rechtwinklig gleichschenklige Prisma P_1 eingesetzt, dessen Reflektionsfläche zur optischen Achse des Fernrohres unter 45^0 geneigt war. Auf der durchbrochenen Kubusfläche, an der die Eintrittsfläche E_1 des Prismas P_1 anlag, war ein zweites rechtwinklig gleichschenkliges Prisma P_2 drehbar angeordnet — die Drehachse senkrecht zur Hauptachse H — und zwar derart, daß die Austrittsfläche A_2 dieses Prismas P_2 ständig der Eintrittsfläche E_1 des Prismas P_1 parallel blieb.

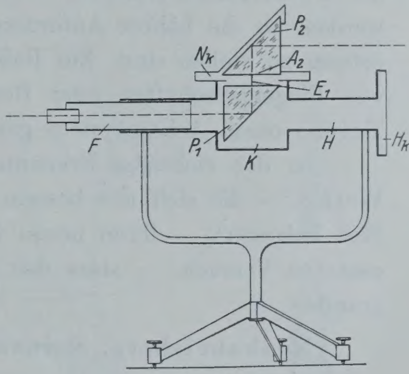


Abb. 2.

Die Drehachse des Prismas P_2 vertrat die Nebenachse. Senkrecht zu derselben war an der Fassung des Prismas P_2 der Nebenkreis Nk angeordnet, während senkrecht zur Hauptachse der Hauptkreis Hk angeordnet war.

Denkt man sich das Prisma P_2 allein gedreht, so beschreibt die optische Achse des Fernrohres — verkörpert durch den aus dem Prisma P_2 austretenden Teil eines gedachten, durch das Fernrohrokular in Richtung der optischen Achse eintretenden Strahles — eine Ebene durch die Hauptachse — abgesehen von der praktisch gleich Null zu setzenden Entfernung der Mitten der beiden Prismen. — Und diese Ebene dreht sich um die Hauptachse, wenn der Kubus K um die Hauptachse gedreht wird, so daß in der Tat am Hauptkreis der Neigungswinkel der Hauptebene, am Nebenkreis der Richtungswinkel der optischen Achse in der Hauptebene abgelesen wird.

Von allem anderen abgesehen, hatte diese Konstruktion den Nachteil, daß die Prismen sich sehr leicht verstellten und ein Nachjustieren derselben mit der erforderlichen Genauigkeit äußerst mühsam und zeitraubend war.

Eine zweite Konstruktion rührt von der Firma Carl Bamberg, jetzt Askania-Werke A.-G. in Berlin-Friedenau, her. Hier war in der Lagergabel für die horizontale Hauptachse eine um dieselbe drehbare dicke Scheibe angeordnet, deren Symmetrieebene die Hauptebene darstellt. Auf beiden Seiten dieser Scheibe war je ein gebrochenes Fernrohr um eine durch den Mittelpunkt der Scheibe hindurchgehende zur Hauptachse senkrechte Achse drehbar angeordnet. Die beiden Fernrohre waren fest

miteinander verbunden, ihre optischen Achsen einander parallel, so daß sie sich nur gemeinsam auch um die Nebenachse drehen konnten, und immer auf den gleichen — entfernten — Punkt eingerichtet waren. Auf der erwähnten Scheibe war gleichzeitig die Nebenkreisteilung angebracht. Die Arbeitsweise dieser Konstruktion ist ohne weiteres verständlich. Sie zeichnete sich durch wesentlich größere Einfachheit und Sicherheit aus. Daneben kam der Umstand, daß der Beobachter von dem einen zum anderen Fernrohr übergehen mußte, falls der Neigungswinkel der Hauptebene durch 90^0 hindurchging, kaum in Betracht.

Zusammenfassend wäre folgendes zu sagen:

„Theodolite mit Tetensschem Achsensystem mögen sich vielleicht bei Pilotballonmessungen, bei denen nur geringe Genauigkeit ($^1/_5{}^0$) und sehr mäßige Zeitfolge (1 Minute) der Beobachtungen verlangt wird, anwenden lassen. Von der Verwendung des Tetensschen Achsensystems muß aber bei allen Instrumenten dringend abgeraten werden, an die höhere Anforderungen betreffs Genauigkeit und Zeitfolge der Beobachtungen zu stellen sind. Zur Bahnbestimmung von Luftfahrzeugen zwecks Untersuchung von Flugeigenschaften oder Bordinstrumenten und dgl. vollends sind Theodolite mit Tetensschem Achsensystem gänzlich ungeeignet.

In der richtigen Erkenntnis der Sachlage legen übrigens auch die Askania-Werke — die sich mit bestem Erfolg mit dem Bau von Ballon- und Flugzeugtheodoliten befassen[1]) — ihren neuen Konstruktionen — abgesehen von dem erwähnten interessanten Versuch — stets das normale Achsensystem mit vertikaler Hauptachse zugrunde.

Neubabelsberg, Sternwarte, im September 1927.

Beitrag zur Entwicklung von Dehnungsmessern kleiner Meßlänge.

Von

Dipl.-Ing. **Kurt Böttcher** in Danzig.

(Fortsetzung von S. 187.)

V.

Versuche mit dem neuen Dehnungsmesser. Erreichbare Meßgenauigkeit. Fehlergrößen.

Die Entwicklung des im vorigen Abschnitt beschriebenen Dehnungsmessers wurde wesentlich durch zahlreiche systematische Versuchsreihen gefördert, die immer wieder neue Gesichtspunkte für die konstruktive Durchbildung und Vervollkommnung des Meßgeräts ergaben.

Da es bei diesen Versuchen zunächst noch nicht auf die Eichung des Instruments, sondern hauptsächlich auf die Erprobung der Regelmäßigkeit seines Ganges, seiner Meßempfindlichkeit, seiner Handlichkeit und leichten Bedienbarkeit ankam, wurde auf die Verwendung eines Eichstabes verzichtet und das Gerät in der Regel an einem hakenförmigen Versuchskörper angesetzt, der zur Durchführung einer Forschungsarbeit in die vertikale 5 t-Zugmaschine des Festigkeitslaboratoriums der Technischen Hochschule zu Danzig eingespannt war und zur Vermeidung von Einspannungswechseln nicht herausgenommen werden durfte. Dieser Versuchskörper, dessen Hauptabmessungen

---

[1]) Vgl. A. Reinecke, Neue Ballontheodolite. *Meteorolog. Zeitschr. Heft 1. 1927.*

aus Abb. 12 ersichtlich sind, besitzt durchweg rechteckigen Querschnitt und besteht aus sorgfältig geglühtem Flußstahl.

Mit Hilfe eines Probestabes aus dem gleichen Material war der Elastizitätsmodul aus mehrfach wiederholten Versuchen zu $2{,}08 \cdot 10^6$ kg/cm² und die Proportionalitätsgrenze durch Aufnahme eines Lastdehnungsdiagramms zu etwa 2500 kg/cm² ermittelt worden. Diese Grenze wurde bei den nachstehend besprochenen Versuchen nie erreicht; die größte gemessene Dehnung (einschließlich der durch die Vorspannung erzeugten) entsprach einer reduzierten Spannung von etwa 2200 kg/cm².

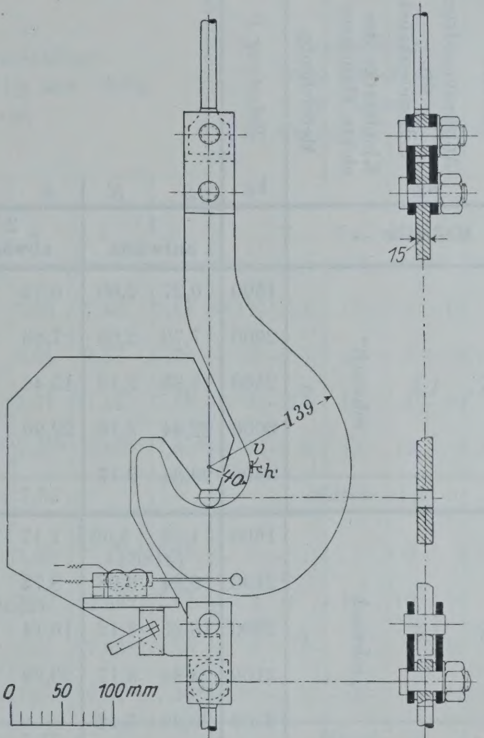


Abb. 12. Versuchskörper mit Einspannvorrichtung.

Erwähnt sei noch, daß der Versuchskörper zur Zeit der Erprobung des neuen Meßgeräts schon etwa 8 bis 10000 Lastwechsel zwischen 0,5 und 3,5 t durchgemacht hatte.

Von den beiden vorhandenen Zugmaschinen des Laboratoriums wurde der mechanischen Hebelmaschine[1]) für diese Versuche der Vorzug vor der hydraulisch angetriebenen 30 t Zugmaschine gegeben, weil sie die Aufbringung einer konstanten Last gestattet und so der bei hydraulischem Antrieb unvermeidliche störende Einfluß der Lastschwankungen auf die Feinmessungen vermieden wird. Außerdem ist die Kraftmessung mit der Laufgewichtswage einer Hebelmaschine genauer und zuverlässiger als die mit Hilfe eines Lamellenfedermanometers an der hydraulisch angetriebenen Maschine. Der Fehler der Laststufen betrug etwa ± 1 %.

Da die Aufnahme von Lastdehnungskurven auch auf die Feststellung des toten Ganges hinzielte, wurde darauf geachtet, daß die Last sich nur in einem Sinne änderte, entweder stieg oder fiel. Diese Sorgfalt erwies sich aber, nachdem die Empfindlichkeit des Dehnungsmessers ihre jetzige Stufe erreicht hatte, im Verlauf der Versuche bei größeren spezifischen Dehnungen der Meßstrecke als nicht mehr erforderlich, weil ihr Erfolg durch das unvermeidliche Schwingen des Waagebalkens um seine Gleichgewichtslage vereitelt wurde. Hierbei treten nämlich Belastungsschwankungen ein, wie das auch deutlich an dem mit dem Waagebalken in gleichem Takt erfolgenden Schwanken der Fernrohrskala des mit optischem Zeiger versehenen Instrumentes festgestellt werden konnte.

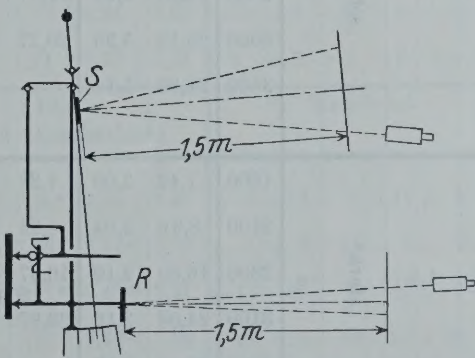


Abb. 13. Der Dehnungsmesser mit optischem Zeiger.

[1]) Mehrfache Hebelwaage, Bauart Mohr & Federhaff, Krafterzeugung und -messung mechanisch. Näheres siehe Wawrziniok, Handbuch des Materialprüfungswesens, S. 621 u. 651 (1923 bei Springer, Berlin).

Zahlentafel 1. Meßreihen des neuen Dehnungsmesse

Skalenabstand 1,50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Versuch Nr. Datum	Anpressungsdruck des Schneidenhebels kg	Klopfstärke des elektr. Hammers	Meßrichtung	Belastung *P* kg	Fernrohrablesungen in cm											
					S	*R*	*S*	*R*	*S*	*R*	*S*	*R*	*S*	*R*	*S*	*R*
Meßreihe →					1 aufwärts		2 abwärts		3 aufwärts		4 abwärts		5 aufwärts		6 abwärts	
I 24. IX. 26	1,5	„schwach“	*v*	1500	0,27	2,00	0,13	2,00	↓		0,13	2,01	↓		0,27	2,(
				2000	7,70	2,05	7,83	2,03	7,47	2,04	7,77	2,05	7,57	2,05	7,78	2,
				2500	15,35	2,12	15,46	2,06	15,43	2,11	15,43	2,07	15,27	2,12	15,58	2,
				3000	22,94	2,16	22,90	2,09	22,82	2,16	23,03	2,09	22,98	2,08	22,77	2,
				3400	29,04	2,17	↑		28,99	2,17	↑		29,01	2,19	↑	
Ia 24. IX. 26	1,5	„schwach“	*v*	1600	1,13	3,00	1,17	3,03			1,20	3,04			1,20	3,
				2100	(2180) 9,84	3,08	8,73	3,07	8,74	3,08	8,68	3,08	(2110) 8,81	3,07	8,81	3
				2600	16,25	3,12	(2590) 16,14	3,16	16,43	3,14	16,34	3,11	16,33	3,16	16,48	3
				3100	23,84	3,17	23,99	3,12	23,98	3,19	(3060) 23,33	3,12	(3180) 24,38	3,20	24,06	3
				3500	29,90	3,12			30,00	3,19			29,90	3,13		
II°°) 27. IX. 26	1,5	„schwach“°°)	*h*	500	14,70	6,00	14,38	5,97			14,60	5,97			14,72	5
				1000	15,95	6,00	15,58	6,00	15,67	5,99	15,79	5,97	15,87	5,99	15,87	5
				1500	16,63	6,02	16,77	6,00	16,88	6,00	16,98	6,00	17,03	5,99	17,09	6
				2000	17,87	6,01	18,00	6,02	18,05	6,00	18,17	6,00	18,28	5,98	18,34	6
				2500	19,00	5,99	19,17	0,03	19,19	5,97	19,37	6,02	19,51	5,95	19,62	6
				3000	20,13	5,96	20,27	6,03	20,32	5,94	20,49	6,02	20,73	5,93	20,82	6
				3500	21,30	5,14			21,51	5,33			21,94	5,91		
III 24. IX. 26	1,5	„stark“	*v*	1600	1,42	3,00	1,38	3,02			1,35	3,03			1,44	0
				2100	8,90	3,04	8,95	3,04	8,88	3,07	(2075) 8,60	3,07	8,90	3,08	8,94	9
				2600	16,39	3,10	16,37	3,08	16,49	3,11	16,40	3,09	(2680) 16,64	3,09	16,48	5
				3100	24,04	3,16	(3095) 23,97	3,09	23,96	3,17	(3055) 23,19	3,10	23,88	3,19	23,90	2
				3500	29,80	3,17			29,60	3,19			29,98	3,26		

Zeichenerklärung:

Die eingeklammerten Zahlen geben die von den Sollbelastungen der Spalte 5 abweichenden Belastu

°°) Der gleiche Versuch mit „starkem“ Klopfen mißlang, weil die Fernrohr

Verwendung eines optischen Zeigers.

alfederspannung 1g.

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Korrigierte Ablesung des bewegl. Spiegels in cm					Teilungsausschläge für $\triangle P = 500$ kg bzw. 50 kg in cm						Abweichungen vom Mittelwert in $^1/_{10}$ mm ($^1/_{10}$ mm $\equiv 1{,}87 \cdot 10^{-6}$ mm)					
2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
0,13	↓	0,12	↓	0,25												
					7,38	7,67	7,30	7,60	7,40	7,48	−17	+12	−15	+5	−15	−7
7,80	7,43	7,72	7,52	7,73												
					7,57	7,60	7,90	7,64	7,63	7,76	+2	+5	+35	+9	+8	+21
15,40	15,32	15,36	15,15	15,49												
					7,56	7,41	7,34	7,51	7,65	7,18	+1	−14	−11	−4	+10	−37
22,81	22,66	22,87	22,80	22,67												
					7,62*	7,58*	7,70*	7,45*	7,52*	7,69*	+7	+3	+15	−10	−3	+14
↑	28,82	↑	28,82	↑												
					Mittel: 7,55						Mittel: 11,7					
1,14		1,16		1,15												
					7,44*	7,52	7,52	7,49	7,44*	7,58	−9	−1	−1	−9	−9	+5
8,66 (2590)	8,66	8,66	(2110) 8,74	8,73												
					7,56*	7,53*	7,63	7,63	7,63*	7,64	+3	0	+10	+10	+10	+11
16,04	16,29	16,23	16,23	16,37												
					7,54	7,63*	7,50	7,57	7,63*	7,56	+1	+10	−3	+4	+10	+3
23,82	23,79	(3060) 23,20	(3126) 24,18	23,90												
					7,63*	7,45*	7,52*	7,50*	7,37*	7,30*	+10	−8	−1	−3	−16	−23
	29,81		29,77													
					Mittel: 7,53						Mittel: 7,1					
14,41		14,63		14,76												
					0,73†	1,17	1,27	1,19	1,25	1,14		−2	+8	0	+6	−5
15,58	15,68	15,82	15,88	15,90												
					1,18	1,19	1,20	1,16	1,18	1,19	−1	0	+1	−3	−1	0
16,77	16,88	16,98	17,06	17,09												
					1,25	1,21	1,17	1,19	1,24	1,25	+6	+2	−2	0	+5	+6
17,98	18,05	18,17	18,30	18,34												
					1,15	1,16	1,17	1,18	1,26	1,28	−4	−3	−2	−1	+7	+9
19,14	19,22	19,35	19,56	19,62												
					1,16	1,10	1,16	1,12	1,24	1,20	−3	−9	−3	−7	+5	+1
20,24	20,38	20,47	20,80	20,82												
					1,19	1,12	1,20	1,11	1,23	1,21	0	−7	+1	−8	+4	+2
	21,58		22,03													
					Mittel: 1,19 † Nicht gemittelt, Ablesefehler?						Mittel: 3,5					
1,36		1,32		1,38												
					7,44	7,55	7,45	7,56*	7,50	7,47	+2	+13	+3	+14	+8	+5
8,91	8,81	(2075) 8,53	8,82	8,85												
					7,43	7,38	7,57	7,39*	7,44*	7,52	+1	−4	+15	−3	+2	+10
16,29 (3035)	16,38	16,31	(2620) 16,55	16,37												
					7,59	7,67*	7,41	7,17*	7,43*	7,41	+17	+25	−1	−25	+1	−1
23,88	23,79	(3055) 23,09	23,65	23,72												
					7,20*	7,11*	7,02*	7,10*	7,62*	7,50	−22	−31	−40	−52	+22	+8
	29,41		29,76													
					Mittel: 7,42						Mittel: 12,7					

k an. Die mit * bezeichneten Teilungsausschläge sind für einen Lastunterschied von $\triangle P = 500$ kg umgerechnet

o e der Erschütterungen stets aus dem Gesichtsfeld verschwand.

Zahlentafel 1 (Fortsetzung). Meßreihen des neuen Dehnungsmess

Skalenabstand 1,5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Versuch-Nr. Datum	Anpressungsdruck des Schneidenhebels kg	Klopfstärke des elektr. Hammers	Meßrichtung	Belastung P kg	Fernrohrablesungen in cm										
					S	R	S	R	S	R	S	R	S	R	S
Meßreihe →					1 aufwärts		2 abwärts		3 aufwärts		4 abwärts		5 aufwärts		6 abwär
IV 27. IV. 26	3,5	„schwach“	h	500	7,36	10,09	7,17	10,09			7,09	10,08			7,13
					(1005)		(925)								
				1000	8,64	10,10	8,24	10,09	8,24	10,10	8,28	10,08	8,24	10,09	8,28
									(1550)						
				1500	9,84	10,12	9,68	10,12	9,63	10,12	9,58	10,10	9,44	10,11	9,68
									(2026)		(1975)				
				2000	11,04	10,11	10,89	10,12	10,80	10,10	10,76	10,12	10,67	10,10	10,77
					(2510)										
				2500	12,28	10,08	12,17	10,13	11,99	10,09	12,07	10,13	11,88	10,07	12,00
															(297
				3000	13,42	10,06	13,35	10,13	13,22	10,06	13,27	10,11	13,14	10,06	13,31
				3500	14,53	10,06			14,40	10,04			14,36	10,03	
V 24. IX. 26	3,5	„stark“	v	1500	1,20	1,02	1,11	1,02			1,11	1,04			1,22
				2000	8,61	1,07	8,62	1,06	8,68	1,07	8,84	1,08	8,78	1,09	8,65
											(2478)				
				2500	15,98	1,12	16,05	1,10	16,00	1,13	15,86	1,10	16,15	1,15	16,19
											(2930)				
				3000	23,41	1,17	23,67	1,11	23,40	1,18	23,47	1,12	23,63	1,20	23,50
				3400	29,53	1,20			29,50	1,21			30,00	1,22	
VI. 25. IX. 26	1,5	„stark“	v	1600	1,45	3,00	1,63	3,01	1,22	3,00	1,18	3,03	1,00		1,21
				1650	2,14	3,00	2,35	3,00	1,83	3,03	1,93	3,03	1,90	3,05	1,99
				1700	2,89	3,01	3,10	3,01	2,53	3,02	2,63	3,03	2,50	3,06	2,67
				1750	3,63	3,02	3,80	3,02	3,34	3,03	3,37	3,03	3,30	3,07	3,36
				1800	4,36	3,02	4,57	3,02	4,09	3,04	4,04	3,03	4,00	3,07	4,06
				1850	?	?	5,28	3,02	4,80	3,07	4,84	3,03	4,89	3,08	4,83
				1900			5,94	3,04	5,59	3,07			5,60	3,09	
VII. 25. IX. 26	3,5	„stark“	v	1500	1,22	1,05	1,34	1,04			1,30	1,06			1,33
				1550	1,90	1,05	1,98	1,04	1,91	1,07	1,98	1,06	1,90	1,08	1,97
				1600	2,70	1,06	2,73	1,05	2,68	1,07	2,73	1,07	2,57	1,08	2,69
				1650	3,40	1,07	3,41	1,05	3,29	1,08	3,39	1,07	3,27	1,09	3,58
				1700	4,13	1,07	4,11	1,05	3,97	1,08	4,07	1,07	4,00	1,09	4,12
				1750	4,87	1,07	4,87	1,05	4,81	1,08	4,77	1,07	4,78	1,09	4,78
				1800	5,50	1,08			5,45	1,09			5,40	1,10	

Verwendung eines optischen Zeigers.
lfederspannung 1g.

19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
Korrigierte Ablesung des bewegl. Spiegels in cm					Teilungsausschläge für $\triangle P = 500$ kg bzw. 50 kg in cm						Abweichungen vom Mittelwert in $^1/_{10}$ mm ($^1/_{10}$ mm $\equiv 1{,}87 \cdot 10^{-6}$ mm)					
2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
7,08		7,01		7,05												
(935)					1,26*	1,10*	1,06	1,19	1,14	1,16	+ 4	− 12	− 16	− 3	− 8	− 6
8,15	8,14	8,20	8,15	8,21												
	(1550)				1,19*	1,38*	1,25*	1,28	1,18	1,37	− 3	+ 16	+ 3	+ 6	− 4	+ 15
9,56	9,51	9,48	9,33	9,58												
	(2020)	(1975)			1,21	1,21	1,26*	1,22*	1,24	1,08	− 1	− 1	+ 4	0	+ 2	− 14
10,77	10,70	10,64	10,57	10,66												
					1,24*	1,27	1,25*	1,23*	1,24	1,22	+ 2	+ 5	+ 3	+ 1	+ 2	0
12,04	11,90	11,94	11,81	11,88												
				(2970)	1,19*	1,18	1,26	1,23*	1,27	1,39*	− 3	− 4	+ 4	+ 1	+ 5	+ 17
13,22	13,16	13,16	13,08	13,21												
					1,11	1,25	1,20	1,20	1,25	1,06*	− 11	+ 3	− 2	− 2	+ 3	− 16
	14,36		14,33													
					Mittel: 1,22						Mittel: 5,6					
1,09		1,07		1,17												
	8,61				7,36	7,43	7,52	7,69	7,62	7,39	− 8	− 1	+ 26	+ 23	+ 18	− 5
8,56		8,76	8,69	8,56												
	15,87	(2478)			7,32	7,43	7,26	7,33*	7,31	7,51	− 1	− 1	− 18	− 11	− 13	− 6
15,99		15,76	16,00	16,07												
	23,22	(2980)			7,38	7,57	7,35	7,57*	7,43	7,30	− 6	+ 13	− 9	+ 13	− 1	− 14
23,56		23,35	23,43	23,37												
	29,29		(3415)		7,61*	7,21*	7,58*	7,08*	7,65*	7,75*	+ 17	− 23	+ 14	− 36	+ 21	− 27
			29,78													
					Mittel: 7,44						Mittel: 11,8					
1,62	1,22	1,15	1,15	1,17												
					0,69	0,73	0,58	0,75	0,70	0,77	− 4	0	− 15	+ 2	− 3	+ 4
2,35	1,80	1,90	1,85	1,94												
					0,74	0,74	0,71	0,70	0,69	0,68	+ 1	+ 1	− 2	− 3	− 4	− 5
3,09	2,51	2,60	2,44	2,62												
					0,73	0,69	0,80	0,74	0,79	0,69	0	− 4	+ 7	+ 1	+ 6	− 4
3,78	3,31	3,34	3,23	3,31												
					0,73	0,77	0,74	0,67	0,70	0,69	0	+ 4	+ 1	− 6	− 3	− 4
4,55	4,05	4,01	3,93	4,00												
						0,71	0,68	0,80	0,88	0,76		− 2	− 5	+ 7	+ 15	+ 3
5,26	4,73	4,81	4,81	4,76												
						0,64	0,79	0,71	0,80	0,75		− 9	+ 6	− 2	+ 7	+ 2
5,90	5,52		5,51													
					Mittel: 0,73						Mittel: 4,2					
1,35		1,29		1,31												
					0,68	0,64	0,64	0,68	0,58	0,64	− 1	− 5	− 5	− 1	− 11	− 5
1,99	1,89	1,97	1,87	1,95												
					0,79	0,74	0,77	0,74	0,67	0,72	+ 10	+ 5	+ 8	+ 5	− 8	+ 3
2,73	2,66	2,71	2,54	2,67												
					0,69	0,68	0,80	0,66	0,69	0,68	0	− 1	+ 11	− 3	0	− 1
3,41	3,26	3,37	3,23	3,35												
					0,73	0,70	0,68	0,68	0,73	0,74	+ 4	+ 1	− 1	+ 4	+ 4	+ 5
4,11	3,94	4,05	3,96	4,09												
					0,74	0,76	0,84	0,70	0,78	0,66	+ 5	+ 7	+ 15	+ 9	+ 9	− 3
4,87	4,78	4,75	4,74	4,75												
					0,62	0,60	0,63	0,66	0,61	0,60	− 7	− 9	− 6	− 8	− 8	− 9
	5,41		5,35													
					Mittel: 0,69						Mittel: 4,9					

Bei der eben gekennzeichneten Art der Be- und Entlastung ließ sich ein Überschreiten der beabsichtigten Laststufe nicht immer vermeiden. In solchen Fällen wurden deshalb nach dem Einspielen des Waagebalkens die Ablesungen für die gerade erreichte Last gemacht und diese in Klammern über den Beobachtungswerten angegeben (vgl. Zahlentafel 1).

Nachdem die Entwicklung des Dehnungsmessers so weit gediehen war, daß der als Kriterium für die Empfindlichkeit des Instrumentes benutzte tote Gang durch Ablesungen an der Zeigerskala kaum noch festgestellt werden konnte, wurde, um Schätzungsfehler (vor allem auch die durch unbewußte Voreinstellung auf ein erwartetes Resultat hervorgerufenen) vollständig und sicher auszuschalten, die normale Vergrößerung des Übersetzungsmechanismus mit Hilfe eines optischen Zeigers nochmals um etwa das 26 fache erhöht (Abb. 13).

Der bewegliche Spiegel S (4×7 mm² groß) wurde dicht unterhalb der Gelenke des Zeigers an diesen mit Klebwachs gekittet. Ebenso wurde auch der Raumspiegel R, der zur Ausschaltung der räumlichen Bewegung des ganzen Dehnungsmessers dient, nach dem Ansetzen des Apparates auf dem Ende der festen Schneide befestigt.

Die Skalenabstände betrugen für beide Spiegel immer 1,50 m.

Bei der Durchführung der in diesem Abschnitt besprochenen Versuche wies die Konstruktion des Zeigerkopfes gegenüber der in Abb. 9 dargestellten Form noch einen für die Arbeitsweise des Instrumentes unwesentlichen Unterschied auf.

Der Zeigerkopf (Abb. 14) war aus einem Stück, ohne die Verlängerung für den Gegengewichtshalter gearbeitet. Das Ausbalancieren der Zeigernadel geschah behelfsmäßig durch ein mit Schellack aufgekittetes Drahtstückchen, das am Ende ein Kügelchen von Klebwachs trug. Der Durchmesser der beiden Gelenkbolzen betrug ebenso wie bei der jetzigen Ausführung 0,5 mm, ihr Abstand war ungefähr der gleiche.

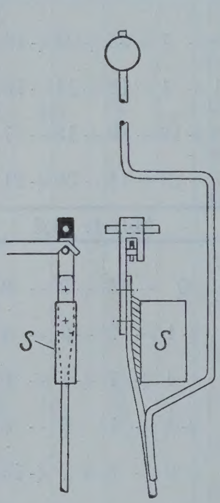


Abb. 14. Ältere Zeigerkopfform.

Gelegentlich der Neuherstellung des Zeigerkopfes wurde aus Herstellungsgründen die aus einem Stück angefertigte Form verlassen, insbesondere weil sich die Innenflächen des Schlitzes nur schwer polieren ließen.

Die jetzige Bauart des Zeigerkopfes (Abb. 9) verspricht mit dem gut polierten Doppelbundbolzen eine größere Reibungsfreiheit, so daß also die Ergebnisse der zur Feststellung der Meßempfindlichkeit des Instrumentes angestellten Versuche auch für die Neukonstruktion gelten.

Außerdem fehlte damals noch das Gegengewicht F (Abb. 4) für den Schneidenhebel, dessen Anordnung sich später als zweckmäßig erwies.

Das Übersetzungsverhältnis des neuen Dehnungsmessers mit dem in Abb. 14 dargestellten Zeigerkopf wurde nachträglich zu 2080, der Dehnungsbeiwert eines Skalenteils (0,7 mm Teilstrichabstand) zu $c_1 = 0{,}336 \cdot 10^{-3}$ mm ermittelt.

Bei Verwendung eines optischen Zeigers mit einer scheinbaren Länge von $2 \cdot 1{,}50 = 3{,}0$ m wird die Vergrößerung nochmals im Verhältnis der Längen des optischen und physischen Zeigers, also um das

$$\frac{2 \cdot 1500}{116{,}5} = 25{,}7 \text{ fache}$$

gesteigert.

Die Übersetzung ist dann

$$25{,}7 \cdot 2080 = 53\,500\,\text{fach}.$$

Einer Schätzungseinheit der Fernrohrskala (0,1 mm) entspricht somit eine Dehnung von

$$\frac{1}{10 \cdot 53\,500} = 1{,}87 \cdot 10^{-6}\ \text{mm}.$$

Bei gleichen Dehnungen ist das Verhältnis der Ablesungseinheiten der Fernrohrskala und der Zeigerskala

$$n = \frac{53\,500 \cdot 0{,}7}{2080} = 18.$$

Der als Schwingungserreger benutzte elektrische Hammer einer handelsüblichen Zimmerglocke war an dem ebenfalls 15 mm starken Gegenhaken des Versuchskörpers befestigt und schlug mit einem gegenüber der normalen Ausführung etwas verlängerten Klöppel (wie in Abb. 12 dargestellt) gegen den Versuchskörper.

Die Klopfstärke ist durch die Stärke des bei festgehaltenem Hammer durch die Magnetwicklung gehenden Stromes gekennzeichnet worden. Wenn auch hierdurch allein die Stärke der Erschütterung nicht scharf bestimmt wird, so gibt die Stromstärke unter sonst gleichen Verhältnissen doch einen gewissen Anhalt für das Maß der Erschütterung.

Bei den Versuchen der Zahlentafel 1 ergab z. B. eine Stromstärke von 0,45 Amp. verhältnismäßig leichte Schläge: „schwaches Klopfen“, während eine solche von 1 Amp. schon verhältnismäßig starke Erschütterungen verursachte: „starkes Klopfen“.

Die Schwingungszahl des Klöppels betrug ungefähr 50/sec.

Mit Hilfe der oben geschilderten Versuchsanordnung wurden insbesondere der Einfluß des Anpressungsdruckes des Schneidenhebels, der Zugkraft der Spiralfeder und der Stärke der Erschütterungen auf die Meßgenauigkeit untersucht.

Die Zahlentafel 1 zeigt die mit einer Spiralfederkraft von 1 g durchgeführten Versuche, die ein allgemeines Bild von der Arbeitsweise des Dehnungsmessers bei wiederholter Be- und Entlastung des Versuchskörpers geben.

Der mit optischem Zeiger versehene Dehnungsmesser wurde hierbei sowohl in vertikaler als auch in horizontaler Meßrichtung an den mit h und v bezeichneten Stellen des Hauptschnittes (siehe Abb. 12) angesetzt.

Für die Messungen in vertikaler Richtung wurde eine Strecke mit verhältnismäßig großer spezifischer Dehnung gewählt, um das Arbeiten des Instrumentes in einem möglichst großen Meßbereich zu prüfen. Das hatte allerdings den Nachteil, daß sich die Fehler der Kraftmessung hier störender bemerkbar machten als bei kleinen spezifischen Dehnungen.

In Zahlentafel 1 sind zunächst die näheren Versuchsbedingungen angegeben, dann die Belastungen, die Fernrohrablesungen des beweglichen Spiegels S und des Raumspiegels R, die mit Hilfe des letzteren reduzierten Ablesungen und dann die einer Belastungsdifferenz von 500 kg entsprechenden Teilungsausschläge.

In den Fällen, in denen die Laststufen von 500 kg verschieden waren, sind die Teilungsausschläge auf diese umgerechnet worden. Das ist genau genug, da die gemessenen spezifischen Dehnungen in den aufeinanderfolgenden Lastintervallen nur sehr wenig voneinander abweichen.

In den letzten Spalten sind schließlich die Abweichungen von dem Mittelwert der Teilungsausschläge in $^1/_{10}$ mm (Schätzungseinheiten der Skala) angegeben und die durchschnittlichen Abweichungen vom Mittelwert berechnet.

Der Gesamtdurchschnitt der Abweichungen der Teilungsausschläge von den Mittelwerten der entsprechenden Versuchsreihen ergibt sich

1. bei den Vertikalmessungen v der 500 kg-Laststufen zu

$$f_1 = \frac{11{,}7 + 7{,}1 + 12{,}7 + 11{,}8}{4} = 10{,}8 \text{ Schätzungseinheiten der Fernrohrskala,}$$

2. bei den Horizontalmessungen h und den Vertikalmessungen v der 50 kg-Laststufen zu

$$f_2 = \frac{3{,}5 + 5{,}6 + 4{,}2 + 4{,}9}{2} = 4{,}64 \text{ Schätzungseinheiten der Fernrohrskala,}$$

$$= \frac{4{,}64}{18} = 0{,}26 \text{ Schätzungseinheiten an der Zeigerskala.}$$

Der Unterschied der beiden Werte f_1 und f_2 hat seine Ursache in der fehlerhaften Krafteinstellung. Diese verursachte bei den unter 1. genannten Messungen einen Fehler von $\frac{1}{100} \cdot 75 = 0{,}75$ Schätzungseinheiten, bei den unter 2. genannten einen Fehler von $\frac{1}{100} \cdot 12 = 0{,}12$ bzw. $\frac{1}{100} \cdot 73 = 0{,}73$ Schätzungseinheiten.

Für die zahlenmäßige Beurteilung der Empfindlichkeit und Gangregelmäßigkeit des neuen Dehnungsmessers kommen daher nur die unter 2. genannten Messungen in Betracht.

Nimmt man für die Versuche die Kraftmessung als absolut richtig an, obwohl zu den Einstellungsfehlern bei der Bedienung der Maschine noch Ungenauigkeiten der Maschine selbst hinzukommen, und schaltet man auch sonstige störende Einflüsse aus, so ergibt sich für den neuen Dehnungsmesser bei Verwendung eines optischen Zeigers mit einem Skalenabstand von 1,50 m aus den Versuchsreihen II, IV, VI und VII ein mittlerer Fehler

$$\mu_i = \pm \sqrt{\frac{v \cdot v}{n-1}} = \pm 6{,}2 \text{ Schätzungseinheiten an der Fernrohrskala}$$

$$= \pm 0{,}35 \text{ Schätzungseinheiten der Zeigerskala}$$

$$= \pm \mathbf{0{,}012 \cdot 10^{-3}} \, \boldsymbol{mm} \text{ Dehnung,}$$

entsprechend einer Eisenspannung von 2,5 kg/cm^2.

Ein eindeutiger Einfluß des Anpressungsdruckes der Schneiden und der Klopfstärke in den für praktische Messungen in Frage kommenden Grenzen auf die Regelmäßigkeit des Ganges ist aus den in der Zahlentafel 1 wiedergegebenen Versuchen nicht zu erkennen. Der größte Teil der Unregelmäßigkeiten scheint von dem letzten Rest der Reibung in den Kerbenlagergelenken herzurühren. Zu einem kleinen Teil haben sie ihre Ursache in den zur Überwindung der Gelenkreibung angewandten Erschütterungen. Die Zeigernadel wird durch den elektrischen Hammer zu Reibungsschwingungen erregt, wobei nach Eintritt des Ruhezustandes ihre Ruhelage nur zufällig mit der richtigen Nullage zusammenfallen wird. Diese Schwankungen aus der Mittellage betrugen z. B. bei schwachem Klopfen und 16 aufeinanderfolgenden Ablesungen im Mittel 0,16 mm, maximal 0,4 mm Fernrohrablesung. Da sie erst bei sehr starkem Klopfen wesentlich größere Werte annehmen, sind sie an der Zeigerskala im allgemeinen auch mit der Lupe vom Beobachter nicht wahrzunehmen und demnach für das Instrument als Zeigerapparat bedeutungslos.

Der tote Gang, dessen Vorhandensein beim Vergleich der Ablesungen bei steigender und fallender Belastung in Zahlentafel 1 an vielen Punkten noch erkennbar ist, ist auf ein Maß in der Größenordnung der Abweichungen der Teilungsausschläge von ihrem Mittelwert während eines Anschlages herabgedrückt worden. Bei seiner zahlenmäßigen Berechnung wäre zu beachten, daß die Umkehrpunkte nicht immer an derselben Stelle liegen und die auf- und absteigenden Dehnungskurven sich daher gelegentlich auch überschneiden.

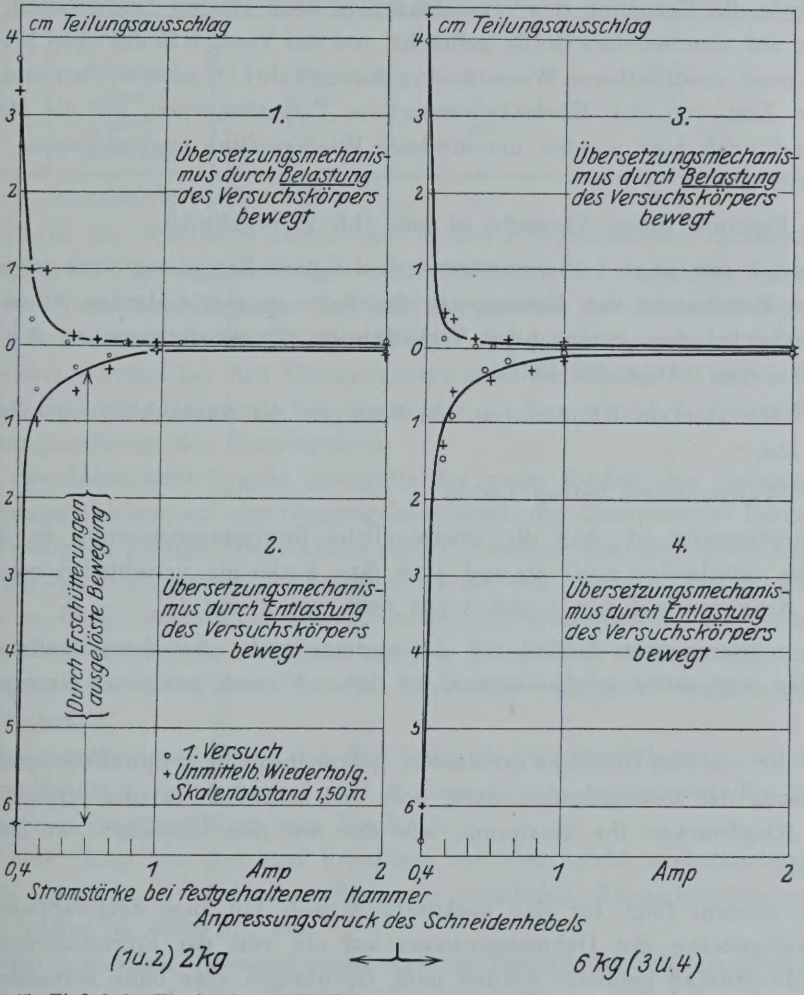


Abb. 15. Einfluß der Klopfstärke auf die Ausschaltung der Bewegungswiderstände in den Gelenken. (Spiralfederspannung 3 g).

Zur Feststellung des Einflusses der Klopfstärke auf die Ausschaltung der Reibung in den Gelenken wurde noch folgender Versuch angestellt.

Der Versuchskörper und der Dehnungsmesser blieben zunächst während der Aufbringung einer gewissen Last möglichst erschütterungsfrei. Hierauf erfolgte die erste Ablesung an der Skala des beweglichen Spiegels. Darauf wurde mit Hilfe eines Schieberwiderstandes die Stromstärke so weit erhöht, bis der elektrische Hammer gerade ansprach. Sobald der Zeiger zum Stillstand gekommen war, wozu es nach dem ersten Ruck meist nur weniger Sekunden langsamen Nachziehens bedurfte, wurden Zeigerstellung und Stromstärke bei festgehaltenem Hammer abgelesen. Da-

rauf wurde der Strom vorsichtig so weit verstärkt, bis eine erneute Bewegung des Zeigers im Fernrohr zu beobachten war; nach Stillstand der Skala wurden die Ablesungen wiederholt.

Die Meßrichtung war dabei vertikal, der Anpressungsdruck des Schneidenhebels betrug 2 bzw. 6 kg, die Spannung der Spiralfeder 3 g.

Die Art der Auslösung der durch die Reibungskräfte gehemmten Bewegungen wurde für beide Bewegungsrichtungen des Übersetzungsmechanismus untersucht. Zunächst wurde die Belastung des Versuchskörpers nach einigen Lastwechseln vorsichtig von unten auf eine mittlere Größe gebracht und der Versuch in der oben beschriebenen Weise mit einer unmittelbaren Wiederholung durchgeführt (Versuchsreihe 1 und 3). Dann wurde die Last von der Höchstbelastung des Versuchskörpers auf die Mittellast ermäßigt und auch hier je eine unmittelbare Wiederholung angeschlossen. (Versuchsreihe 2 und 4).

Das Ergebnis dieser Versuche ist aus Abb. 15 ersichtlich.

Es zeigt sich hierbei übereinstimmend, daß nach Erreichung einer gewissen Klopfstärke die Beseitigung der Bewegungswiderstände in den Gelenken einen Stillstand erreicht, was bei den vorliegenden Verhältnissen (Spiralfederspannung 3 g) bei einer Stromstärke von 1 Amp. der Fall ist.

Bei sehr starkem Klopfen trat ein Springen der Skala bis zu 2 mm Fernrohrablesung ein.

Der Skalenabstand betrug 1,50 m.

Bemerkenswert ist, daß die ursprüngliche Bewegungshemmung in den beiden Richtungen verschieden groß ist und auch ihre Auslösung verschieden rasch vor sich geht (vgl. Kurvenverlauf von 1 und 3 mit dem von 2 und 4).

Ein nennenswerter Einfluß des Anpressungsdrucks des Schneidenhebels ist, wie zu erwarten war, selbst in den weiten, für diesen Versuch gewählten Grenzen nicht zu erkennen.

Bei der um das Dreifache geringeren, gebrauchsmäßigen Spiralfederspannung tritt die Auslösung der Bewegungshemmung sehr viel schneller ein und erreicht schon bei kleineren Klopfstärken ihr Maximum, wie das aus den Versuchen der Zahlentafel 1 hervorgeht.

Aus alledem folgt für das praktische Messen mit dem Zeigerapparat, daß die Erschütterungsstärke des Dehnungsmessers auf ein von der Spiralfederspannung abhängiges Mindestmaß gebracht werden muß, im übrigen aber ohne nennenswerten Einfluß auf das Meßergebnis in verhältnismäßig weiten Grenzen variiert werden kann.

Von Interesse ist noch der Einfluß der Spiralfederspannung auf die Meßergebnisse.

Die in Zahlentafel 1 aufgeführten Versuchsreihen waren unter den gleichen Versuchsbedingungen zuvor mit demselben Zeigerhebel, aber ohne Gegengewicht, und mit einer aus statischen Gründen noch erforderlichen Mindestspiralfederspannung von 5,5 g durchgeführt worden, die also noch $^1/_6$ bis $^1/_{10}$ der bei Okhuizen-Apparaten üblicher Federspannungen betrug.

Die Auswertung wurde in gleicher Weise wie in Zahlentafel 1 vorgenommen und brachte die in Zahlentafel 2 dargestellten Ergebnisse.

Zahlentafel 2. Einfluß der Spiralfederspannung auf die Regelmäßigkeit des Ganges des Übersetzungsmechanismus.

1	2	3	4	5	6
Anpressungsdruck des Schneidenhebels	Klopfstärke	Durchschnittliche Abweichungen der Teilungsausschläge von den Mittelwerten der entsprechenden Versuchsreihen in $^1/_{10}$ mm F.-Abl. ($^1/_{10}$ mm $= 1{,}87 \cdot 10^{-6}$ mm)			
		Spiralfederspannung 1 g		**Spiralfederspannung 5,5 g**	
kg		$\Delta P = 500 \pm 5$	$\Delta P = 50 \pm 1$	$\Delta P = 500 \pm 5$	$\Delta P = 50 \pm 1$
1,5	„schwach“	11,7		18,9	11,0
1,5	„schwach“	7,1		26,7	
1,5	„stark“	12,7	4,2	16,0	10,5
3,5	„stark“	11,8	4,9	22,0	7,0
3,0	„schwach“			14,8	7,8
	Gesamtmittel	10,8	4,6	19,7	9,1

Da die in den Spalten 3 und 5 bzw. 4 und 6 verzeichneten durchschnittlichen Abweichungen der Teilungsausschläge vom Mittelwert der einzelnen Versuche unter sonst gleichen Versuchsbedingungen und aus der gleichen Anzahl von Einzelmessungen gewonnen wurden, erscheint ihr Unterschied als Folge der größeren Spiralfederspannung. Diese Differenz beträgt bei den Gesamtmittelwerten der Spalten 3 und 5 (Laststufen 500 kg) 8,9 Schätzungseinheiten, bei denen der Spalten 4 und 6 (Laststufen 50 kg) 4,5 Schätzungseinheitsn der Fernrohrskala.

Aus der Zahlentafel 2 geht jedenfalls der große Einfluß der Reibungskräfte in den Kupplungsgelenken auf die Gangregelmäßigkeit des Instrumentes hervor, woraus sich die Wichtigkeit kleinster Lagerkräfte ergibt. Insofern erscheint daher auch die Art der Lagerung des Drehpunktes des Zeigerhebels bei den von den Firmen Fuess und Staeger in Berlin-Steglitz gebauten Okhuizen-Dehnungsmessern, bei denen der Gelenkbolzen des Zeigerhebels nicht nur von der Spiralfeder, sondern auch noch durch seitlich angeordnete Blattfedern in die Kerbenlager gedrückt wird, noch als verbesserungsbedürftig.

In der verschiedenen Größe der durchschnittlichen Abweichungen von den Mittelwerten der Spalte 3 und 4 bzw. 5 und 6 kommt auch hier wieder der Einfluß der Genauigkeit der Lasteinstellung zum Ausdruck.

Der tote Gang war bei den Versuchen mit dem nicht ausbalancierten Zeigerhebel noch deutlich zu erkennen. Sein aus sämtlichen Versuchsreihen errechneter Mittelwert betrug rd. $0{,}05 \cdot 10^{-3}$ mm.

Bei den bisherigen Untersuchungen war der Einfluß der Schätzungsfehler an der Zeigerskala ausgeschaltet. Zur Feststellung seiner Größe wurden bei einigen Versuchsreihen die Ablesungen an der Zeigerskala von dem Verfasser, die beiden Fernrohrablesungen, die den Ablesungen an der Zeigerskala gegenüber den Wert völliger Genauigkeit haben, von einem Meßgehilfen vorgenommen.

Aus insgesamt 52 Beobachtungen, die an verschiedenen Tagen vorgenommen wurden, ergab sich der mittlere Fehler einer Ablesung zu 0,38 Schätzungseinheiten an der Zeigerskala.

Für eine aus zwei Ablesungen bestehende Dehnungsmessung ist dann ein mittlerer Schätzungsfehler von

$$\mu_s = 0{,}38 \cdot \sqrt{2} = 0{,}54 \text{ Schätzungseinheiten der Zeigerskala}$$
$$= 0{,}54 \cdot 0{,}336 \cdot 10^{-3} = \mathbf{0{,}018 \cdot 10^{-3}}\ \boldsymbol{mm} \text{ Dehnung}$$

zu erwarten.

Um einen Bruchteil dieses Betrages wird der mittlere Fehler der Einzelmessung bei Verwendung eines optischen Zeigers verkleinert.

Durch Zusammensetzung des auf Seite 34 gefundenen, von Schätzungsfehlern praktisch freien mittleren Fehlers μ_i und des mittleren Schätzungsfehlers μ_s an der Zeigerskala erhält man den mittleren Fehler einer Dehnungsmessung mit Hilfe des Zeigerapparates

$$\mu = \sqrt{0{,}018^2 + 0{,}012^2} \cdot 10^{-3} = \mathbf{0{,}022 \cdot 10^{-3}}\ \mathbf{mm}.$$

Hierin sind nur die zufälligen Fehler enthalten, die bei dem Arbeiten des Instruments nach dem einmal erfolgten Ansetzen entstehen und ihre Ursache in Unregelmäßigkeiten des Ganges sowie in der Beschränkung der Ablesemöglichkeit an der Skala und der Sehschärfe des Beobachters haben und von der Größe der Dehnungen unabhängig sind.

Andere während der praktischen Meßtätigkeit vorkommende Fehler wachsen mit der Größe der Dehnungen, teils in immer gleichbleibendem Maße (Fehler bei der Bestimmung der Meßlänge und des Übersetzungsverhältnisses), teils in von Ansatz zu Ansatz wechselndem Maße.

Zu den letzteren gehören z. B. die Meßfehler, die durch das ungenaue Ansetzen des Instruments entstehen. Sie wirken sich je nach Größe der punkt- und richtungsweisen Veränderlichkeit der Dehnungen der Meßstrecke in verschiedenem Maße aus.

Besonders starke Abweichungen von den Mittelwerten der Dehnungen einer bestimmten Meßrichtung treten auf, wenn die Hauptdehnungen entgegengesetzes Vorzeichen haben (große Exzentrizität der Dehnungsellipse) und die Meßrichtungen mit den Achsen der Dehnungsellipse Winkel von etwa 45^0 bilden. Über die Größe der hier zu erwartenden Schwankungen gibt folgende Rechnung Auskunft.

Die beiden Hauptdehnungen seien ε_0 und $\varepsilon_{\pi/2}$. Dann folgt die unter einem beliebigen Winkel α gegen ε_0 gerichtete Dehnung aus der Beziehung

$$\varepsilon_\alpha = \varepsilon_0 \cos^2 \alpha + \varepsilon_{\pi/2} \sin^2 \alpha.$$

Nimmt man z. B. das Verhältnis der beiden Dehnungen an, wie es beim einachsigen Spannungszustand vorhanden ist, also

$$\varepsilon_0 = -\frac{\varepsilon_{\pi/2}}{m} = -\frac{3}{10}\varepsilon_{\pi/2},$$

so wird

$$\varepsilon_\alpha = -\frac{3}{10}\varepsilon_{\pi/2} \cos^2 \alpha + \varepsilon_{\pi/2} \sin^2 \alpha,$$

und für $\alpha = 45^0$

$$\varepsilon_{\pi/4} = 0{,}35\ \varepsilon_{\pi/2}.$$

Die Veränderlichkeit der Dehnung ε_α von dem Winkel a ergibt sich aus

$$\frac{d\varepsilon_\alpha}{d\alpha} = \frac{3}{10}\varepsilon_{\pi/2} \cdot 2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha + \varepsilon_{\pi/2} \cdot 2 \sin\alpha \cdot \cos\alpha,$$

oder für $a = 45^0$

$$\frac{d\varepsilon_\alpha}{d\alpha} = 1{,}3\ \varepsilon_{\pi/2}.$$

Da der neue Dehnungsmesser durch seine gewinkelte Bauart bei scharf vorgezeichneten Richtungslinien eine Genauigkeit der Richtungseinstellung von etwa

$\pm 1/2^0 = \frac{\pi}{2 \cdot 180} = 0{,}0087$ gestattet, so sind also unter den obigen Voraussetzungen Fehler zu erwarten von

$$f_R = \pm \frac{0{,}0087 \cdot 1{,}3}{0{,}35} 100 = \pm 1{,}6\%,$$

vorausgesetzt, daß die Richtungslinien selbst genau verzeichnet sind und die zum Visieren dienenden Querstücke y und t (Abb. 4) mit den Schneidenspitzen parallel laufen.

Die Zentrierfeder gestattet bei sorgfältigem Arbeiten eine Zentrierung des Dehnungsmessers auf einen Kreis von etwa $^5/_{10}$ mm $\varnothing$. Nachteilig ist noch die verhältnismäßig geringe Seitensteifigkeit der Zentrierfeder, die bei unvorsichtigem Tasten auf dem Versuchskörper manchmal etwas zur Seite gedrückt wird. Vorteilhafter wäre die Zentrierung durch einen vertikal geführten und durch eine Feder niedergedrückten Stift. Ein solcher ließ sich bei dem vorliegenden Versuchsmodell nachträglich nicht mehr einbauen.

Die Meßlänge des neuen Instrumentes wurde dadurch festgestellt, daß dieses insgesamt 22 mal in normaler Weise auf ein glattgehobeltes Flacheisen aufgesetzt und die Entfernung der (etwa $^{5-8}/_{100}$ mm breiten) Schneidenspuren mit Hilfe eines Okularschraubenmikrometers je 4 mal ausgemessen wurde.

Die Meßlänge wurde so zu 9,97 mm bei einem mittleren Fehler von $\pm$ 0,06 mm ermittelt.

Die auftretenden Schwankungen (im Maximum rd. $^1/_{10}$ mm) lassen sich noch verringern, wenn in geeigneter Weise für die stets gleiche, senkrechte Stellung des Schneidenhebels zur Meßfläche gesorgt würde, wie das z. B. bei den früher erwähnten Spiegelinstrumenten mit Hilfe von Feststellstiften bzw. -schrauben erreicht worden ist.

Bei der Feinheit der Messungen mit dem neuen Instrument ist auch dem Wärmeeinfluß Rechnung zu tragen. Dieser macht sich dann bemerkbar, wenn sich während der eigentlichen Messung der Temperaturunterschied zwischen den Verbindungsplatten o (Abb. 4) und dem Versuchskörper ändert. Und zwar genügt schon eine gegenseitige Temperaturänderung von $^1/_3{}^0$, um das Ergebnis um ein Maß in der ungefähren Größe einer Schätzungseinheit des Zeigerinstrumentes zu fälschen. Dabei ändert sich nämlich die 10 mm lange Meßstrecke (Wärmeausdehnungszahl des Eisens 0,000011)

um
$$\frac{1}{3} \cdot 0{,}000011 \cdot 10^{-3} = 0{,}037 \cdot 10^{-3} \text{ mm}.$$

Da nun aber die Schwankungen der Temperatur des Versuchsraumes in der kurzen Zeit der eigentlichen Messung verschwindend klein sind, sind diese Störungen belanglos. Auch die Einflüsse infolge der Wärmeausstrahlungen des menschlichen Körpers während des Ansetzens oder der direkten Bestrahlung durch eine in der Nähe befindliche elektrische Lampe können bei einiger Vorsicht vermieden werden, da die Verbindungsplatten o (Abb. 4) durch die auf ihnen befestigten Teile vor direkter Bestrahlung geschützt sind und auch während des Ansetzens eine unmittelbare Berührung dieser Teile nicht stattzufinden braucht. Immerhin ist bei der Aufbewahrung darauf zu achten, daß die Temperatur des Meßinstrumentes zu Beginn der Messungen ungefähr die gleiche wie die des Versuchskörpers ist. (Schluß folgt.)

Referate.

Geophysikalische Methoden im Bergbau.

(Geophysical methods in mining. The application of gravitational, magnetic and other direct geophysical methods in mining and the nature of the physical problems involved.)

Von C. A. Heiland. *The Mining Congress Journ. Nov. 1926. S. 777—784.*

Die vorliegende Arbeit ist ein Beitrag zu der Diskussion des Wertes geophysikalischer Methoden, an der sich verschiedene Vertreter der Geophysik beteiligten und die anläßlich der Zusammenkunft der Western Division des Amerikanischen Bergwirtschaftskongresses stattfand. Die Arbeit erörtert demgemäß nur die geophysikalischen Methoden, die für den Bergbau in Frage kommen, und steht somit im gewissen Gegensatz zu einem ähnlichen Artikel des Verfassers im Oil- und Gas-Journal. Von diesen Methoden wiederum sind nur die direkten, d. h. die Messungen der Schwerkraft, des Magnetismus und der elektrischen Eigenpotentiale in Anwendung auf Erz, Kohle, Salz und Aufbereitungs- (Platin- und Gold-) Lagerstätten behandelt. — Während für die Ölindustrie die indirekten Aufschlußmethoden die größte Bedeutung besitzen, so ist für den Bergbau genau das Gegenteil der Fall: die geologische Struktur ist im allgemeinen gut bekannt, und es handelt sich darum, die Lagerstätte selbst zu finden. Demgemäß liegen auch im Bergbau die Verhältnisse für die Deutung im Prinzip günstiger, da die Lagerstätte selbst die physikalische Störung verursacht, während man in der Ölindustrie zwar die Struktur findet, aber dann immer noch nicht weiß, ob dieselbe Öl enthält oder nicht. Andererseits ist aber auch die Anwendung geophysikalischer Methoden im Bergbau mit dem Nachteil behaftet, daß die Massen, die durch die zu suchenden Lagerstätten repräsentiert werden, im allgemeinen wesentlich geringer sind als die der großen Strukturelemente, um die es sich in der Ölgeologie handelt. Daher kann man mit geophysikalischen Methoden im allgemeinen im Bergbau längst nicht die Tiefen erreichen wie beim Aufsuchen von Öl. Eingeschränkt wird dieser Übelstand allerdings ein wenig durch die Tatsache, daß der Bergbau nicht an Lagerstätten interessiert ist, die in solchen Tiefen vorkommen wie das Öl, da es weit kostspieliger ist, ein Erzlager durch einen Schacht und die damit verbundenen Untergrundarbeiten aufzuschließen, als ein Öllager durch Bohrungen. Die mit der oben genannten relativ geringen Tiefenwirkung in Zusammenhang stehende Tatsache, daß die geophysikalischen Störungen von unter geringer Decke verborgenen Lagern zwar sehr ausgeprägt, aber lokal auf einen engen Raum begrenzt sind, ferner der Umstand, daß die meisten bergbaulich wichtigen Lagerstätten in Gebirgen vorkommen, wo nicht nur das Terrain an sich, sondern häufig auch die in solchen Gegenden meistens komplizierten geologischen Verhältnisse beträchtliche Schwierigkeiten hervorrufen können, hat es mit sich gebracht, daß der amerikanische Bergbau in der Anwendung geophysikalischer Methoden wesentlich weiter zurück ist als die amerikanische Ölindustrie. Hinzukommt allerdings, daß selbst relativ große Erzlager im allgemeinen nicht derartige Kapitalien repräsentieren als Öllagerstätten, so daß allein schon deswegen bei Erzprodukten die Anwendung geophysikalischer Methoden weniger in Betracht gezogen werden wird. — Diese und ähnliche Fragen werden in dem referierten Artikel behandelt, und zwar vom theoretisch-physikalischen Gesichtspunkt aus. Z. B. sind die Schwerkrafteffekte von verschiedenen Lagerstätten bei wechselnder Mächtigkeit des Deckgebirges berechnet und verglichen. Ferner sind die Probleme erörtert, die bei Schwerkraftmessungen unter Tage auftreten, und zu diesem Zwecke der Effekt von Lagerstätten über und ober dem Beobachtungspunkt berechnet. Was die magnetische Wirkung von Lagerstätten anbetrifft, so sind derartige theoretische Berechnungen nach Ansicht des Verfassers bisher zu wenig vervollkommnet, um einen in allen vorkommenden Fällen praktischen Wert zu besitzen. Die bisherigen Theorien nehmen an, daß die magnetischen Lagerstätten entweder nur durch Induktion des Erdfeldes magnetisch sind oder nur Eigenmagnetismus besitzen, während in der Natur häufig beide Arten von Lagerstätten nebeneinander vorkommen. Nicht nur die letztgenannte Tatsache, sondern auch der Umstand, daß beide, sowohl Permeabilität wie Eigenmagnetismus von Ort zu Ort weit schneller wechseln als das spezifische Gewicht von Lagerstätten, macht die Deutung magnetischer Anomalien so schwer und theoretische Berechnungen nur in günstigen Fällen möglich, wo man über die Art der Magnetisierung bereits genau informiert ist. Magnetische Untergrundmessungen werden ebenfalls in obiger Arbeit behandelt. Die Beschreibungen und Abbildungen von Instrumenten

sind früheren Arbeiten des Verfassers entnommen, mit Ausnahme der neuen, kleinen Drehwage von Schweydar mit Z-Waagebalken. Ferner sind die bisher veröffentlichten Fälle der Anwendung direkter geophysikalischer Methoden im Erzbergbau angeführt, und zwar mit Literaturangabe.

Dr. C. A. Heiland-Golden, Col.

Konstruktion, Theorie und Anwendung der Lokalvariometer.

(Construction, theory and application of magnetic field balances.)

Von C. A. Heiland. *Bull. of the Am. Assoc. of Petroleum Geologists. Dez. 1926. S. 1189—1200.*

Eine kurze Beschreibung der Lokalvariometer für die magnetische Vertikal- und Horizontalintensität wird gegeben. Abbildungen von Querschnitten erläutern die Funktion derselben. Die Grundzüge der Theorie beider Instrumente werden erklärt und die aus der allgemeinen Formel für das auf ein beliebig im Raume orientiertes Magnetsystem ausgeübte Drehmoment abgeleitete Fundamentalgleichung angegeben. Aus dieser Fundamentalgleichung wird dann für beide Instrumente die Gebrauchsformel abgeleitet. Die Handhabung wird kurz beschrieben. Mit Feldwaagen erzielte Ergebnisse über Salzdomen und Eisenerzlagern werden als Beispiele angeführt. Den Schluß bildet eine ausführliche Literaturzusammenstellung aller bisher mit beiden Feldwaagen ausgeführten Untersuchungen. *Dr. C. A. Heiland-Golden, Col.*

Die Eötvös-Torsionswaagen Bauart Schweydar-Bamberg.

(Schweydar-Bamberg types of Eoetvoes torsion balances.)

Von C. A. Heiland. *Bull. of the Am. Assoc. of Petroleum Geologists. Dez. 1926. S. 1201—1209.*

Nachdem einleitend der Vorteil der photographischen Registrierung hervorgehoben ist, wird die Konstruktion, Empfindlichkeit, Beobachtungsdauer und Herstellung der großen Bambergschen Waage beschrieben. Auch die Schweydarsche Terrainkorrektion wird gestreift. Dann wird physikalisch erläutert, wie gefährlich es ist, eine Verkleinerung der Drehwaagendimensionen nur durch eine Reduktion des Fadendurchmessers zu kompensieren: wenn alle Längen des Instrumentes halbiert werden und dieser Empfindlichkeitsverlust nur durch entsprechende Verkleinerung des Fadendurchmessers wieder wettgemacht wird, so wächst der Einfluß von irgendwelchen Störungen auf das Vierfache. Daher sind gute Erfolge mit einer kleinen, von W. Schweydar angegebenen Drehwaage erzielt worden, bei der die Verringerung der Höhe durch eine andere Form des Waagebalkens (ein Gewicht oberhalb, das andere unterhalb des horizontalen Balkenteils) wettgemacht wurde. Ferner hat diese Anordnung den Vorteil, daß trotz der verringerten Höhe des Instrumentes der Schwerpunktsabstand von der Erdoberfläche und somit die Terrainkorrektion dieselbe bleibt. — Endlich wird noch auf künftige Entwicklungsmöglichkeiten der Drehwaage hingewiesen und angeregt, eine Vakuumdrehwaage zu konstruieren. In der Diskussion wurde nochmals der Vorzug der photographischen über die visuelle Einrichtung behandelt. — Den Schluß bildet ein ausführliches Literaturverzeichnis über Konstruktion und Ergebnisse der Schweydarschen Waagen. *Dr. C. A. Heiland-Golden, Col.*

Ein neuer Zähigkeitsprüfer (Viskosimeter).

Von Albrecht und Wolff. *Zeitschr. d. Ver. D. Ing.* **71.** *S. 1299. 1927.*

Das in der vorliegenden Arbeit beschriebene neue Gerät wurde für die Zwecke der Reichsbahn konstruiert. Das Ziel war, einerseits die bekannten Nachteile des Englerapparates, sowie die Zerbrechlichkeit gläserner Kapillarviskosimeter zu vermeiden, andererseits ein genaues, für jeden praktisch vorkommenden Zähigkeitsbereich ohne Abänderung verwendbares Gerät zu bekommen, mit dem auch Farben, sowie graphitierte und verschmutzte Öle untersucht werden sollten. Der Apparat besteht aus einer Pendelvorrichtung, auf deren Waagbalken ein Kügelchen am Ende eines Stiles sitzt, der bis zu einer bestimmten Tiefe in die Versuchsflüssigkeit eintaucht. Das Pendel wird durch einen Elektromagneten angestoßen. Die entstehende gedämpfte Schwingung wird durch Spiegel und Lichtstrahl auf einen durch Uhrwerk bewegten Film aufgezeichnet. Aus der so gegewonnenen Kurve erhält man in einfacher Weise den Dämpfungswert c des Dämpfungsgliedes in der bekannten Differentialgleichung einer gedämpften Schwingung. Bei der Berechnung von c muß an Stelle des wirklichen Pendelgewichts das Gewicht des entsprechenden mathematischen Pendels

eingesetzt werden. Der so erhaltene Dämpfungsbeiwert c muß noch, wie die Verff. empirisch ermittelt haben, durch Division durch $\sqrt{s}$ verbessert werden, wenn s das spezifische Gewicht der Flüssigkeit ist. Die Größe $\frac{c}{\sqrt{s}}$ ist mit der Zähigkeit η der Versuchsflüssigkeit durch eine empirisch ermittelte Eichkurve verbunden. Da über die Art, wie diese Eichkurve gefunden ist, keinerlei Angaben gemacht sind, läßt sich nicht beurteilen, ob die mit dem Instrument erreichbare Genauigkeit dem immerhin beträchtlichen Aufwand an Herstellungs- und Betriebskosten entspricht. *S. Erk.*

Die Behandlung der Reflexion als Spezialfall der Brechung.

(The treatment of reflection as a special case of refraction.)

Von T. Smith, *Transact. Opt. Soc.* **27.** *S. 312—316. 1925—26.*

Bekanntlich kann man die Reflexion als Spezialfall der Brechung ansehen, wenn man den Brechungsquotienten negative Werte beilegt. Mit dieser Festsetzung wird das Problem gewöhnlich abgetan. Daß mehr Aussagen erforderlich sind, wird verständlich, wenn man andere Systeme als einfache Spiegel betrachtet. Solche Fragen sind etwa folgende: Sind die Abstände zwischen den zu betrachtenden Flächen für den reflektierten Strahl negativ? Sind die Krümmungen der vom reflektierten Licht getroffenen Flächen mit demselben Vorzeichen einzusetzen, als wenn sie von ursprünglich einfallendem Licht getroffen würden?

Die den Winkeln bei der Reflexion erteilten Vorzeichen sind unsystematisch. Der Einfallswinkel wird in der einen, der Ausfallswinkel in der anderen Richtung gemessen. Dieser Wechsel in der Konvention macht die Anlehnung der Reflexion an die Brechung unnötig schwierig, und ist wahrscheinlich dafür verantwortlich, daß die analytischen Gleichungen für die Reflexion in optischen Abhandlungen häufig unkorrekt sind. Die Einfalls- und Reflexionswinkel müssen von derselben Normalenrichtung als Nullrichtung gerechnet werden. Dann müssen wir statt $i_r = i$ (Abb. 1) besser schreiben $i + i' = \pi$ (Abb. 2), um das Reflexionsgesetz winkelmäßig auszudrücken. Nun ist bei $OP = OP' = 1$, $\cos i = OM$, $\cos i' = OM'$; deshalb gilt wegen $OM = -OM'$ die Beziehung

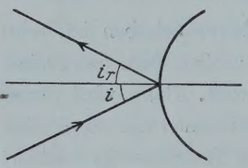


Abb. 1.

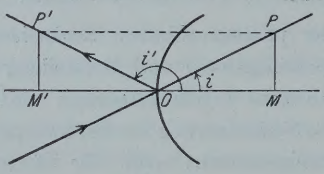


Abb. 2.

$$OM + OM' = \cos i + \cos i' = O.$$

Bezeichnen wir nun mit (l, m, n) die Richtungskosinus der Normalen, mit (L, M, N) bzw. (L', M', N') die Richtungskosinus des einfallenden bzw. austretenden Strahls, so lautet unter Wahrung der Vorzeichen das Reflexionsgesetz:

$$\frac{L' - L}{l} = \frac{M' - M}{m} = \frac{N' - N}{n} = \cos i' - \cos i, \qquad 1)$$

das Brechungsgesetz:

$$\frac{n'L' - nL}{l} = \frac{n'M' - nM}{m} = \frac{n'N' - nN}{n} = n' \cos i' - n \cos i. \qquad 2)$$

Wegen $\cos i' = -\cos i$ bei der Reflexion gestaltet sich der Übergang von der Brechung her durch Einsetzen dieses Wertes in 2); man erhält dann $-(n' + n) \cos i$ und bei kleinem i den Wert $-(n' + n)$. Bei der Brechung wird mit i auch i' gleich Null, so daß dafür der Grenzwert lautet $(n' - n)$. Der Unterschied liegt eben grundsätzlich darin, daß bei der Brechung mit i auch i' gleich Null wird, während bei der Reflexion bei $i = 0$ aber $i' = \pi$ wird. Damit ist die Spezialisierung von der Brechung auf die Reflexion unter dem Gesichtspunkt vorgenommen worden, daß die positiven Richtungen der Koordinaten invariant bleiben.

Nun wäre noch zu fordern, daß auch die Vorzeichen für die Flächenkrümmungen und für die Dicken invariant sind. Wenn wir mit (ξ, η, ζ) den Einfallspunkt des Lichtstrahls auf einer Fläche vom Radius r bezeichnen, so gilt nach der üblichen Vorzeichenwahl

$$\xi + lr - a = \eta + mr - b = \zeta + nr - c = 0, \qquad 3)$$

wo (a, b, c) der Kugelmittelpunkt ist. Die Gleichungen 1) und 2) werden daher:

$$\frac{L' - L}{a - \xi} = \frac{M' - M}{b - \eta} = \frac{N' - N}{c - \zeta} = k, \tag{4}$$

$$\frac{n'L' - nL}{a - \xi} = \frac{n'M' - nM}{b - \eta} = \frac{n'N' - nN}{c - \zeta} = K, \tag{5}$$

wo
$$k = \frac{\cos i' - \cos i}{r} \quad \text{und} \quad K = \frac{n' \cos i' - n \cos i}{r}.$$

Ist nun (x, y, z) ein Punkt auf dem einfallenden Strahl im Abstande ϱ von (ξ, η, ζ) und $(x', y' z')$ ein Punkt auf dem austretenden Strahl in der Entfernung ϱ', wobei ϱ und ϱ' in der Fortpflanzungsrichtung des einfallenden bzw. austretenden Strahles gerechnet werden, so gelten die Gleichungen

$$\frac{x - \xi}{L} = \frac{y - \eta}{M} = \frac{z - \zeta}{N} = \varrho, \tag{6}$$

$$\frac{x' - \xi}{L'} = \frac{y' - \eta}{M'} = \frac{z' - \zeta}{N'} = \varrho', \tag{7}$$

und diese beiden Gleichungen sind invariant. Wird die Lichtrichtung umgekehrt, so ist das für die Brechung ohne jeden Einfluß auf die Gültigkeit der Gleichungen 4) bis 7). Leiten wir nun die entsprechenden Gleichungen für die Reflexion ab, indem wir die Richtungskosinus L', M', N' ersetzen durch $-L''$, $-M''$, $-N''$, so wird aus Gleichung 4)

$$\frac{-L'' - L}{a - \xi} = \frac{-M'' - M}{b - \eta} = \frac{-N'' - N}{c - \zeta} = k = \frac{-\cos(\pi + i') - \cos i}{r}. \tag{8}$$

Die Richtungskosinus L'', M'', N'' können angesehen werden als diejenigen eines reellen Strahls, wenn Brechung an Stelle von Reflexion tritt. Der Vektor ϱ'' wird für den gebrochenen Strahl in der gewöhnlichen Richtung gemessen und der einzige Wechsel rührt davon her, daß bei der Verlegung des Bezugspunktes, von dem diese Abstände gemessen werden, von einer Fläche zur anderen die Abstände zunehmen, während sie zuerst abnahmen. Mit anderen Worten, die Dicken werden negativ. Da jedoch auch die Brechungsquotienten negativ werden, bleiben die reduzierten Dicken unberührt. Der einzige Fall, wo die Vorzeichenumkehr zu beachten ist, besteht dann, wenn wiederholte Reflexionen stattfinden; die Brechungsquotienten werden abwechselnd negativ und positiv für diese Reflexionen.

Da ja die optischen Formeln immer reduzierte, und nicht wirkliche Abstände enthalten, braucht die Richtungsumkehr, die mit einer Umkehrung des Brechungsverhältnisses gepaart ist, nicht berücksichtigt werden, will man die Lage der Kardinalpunkte eines Systems in Luft ermitteln. Zusammenfassend ist also zu sagen, daß, wenn wir die Brechkräfte der Flächen durch die Lichtreflexion unbeeinflußt annehmen und wenn wir die reduzierten Dicken immer positiv einsetzen, wir die gewöhnliche Brechungsformel unabhängig davon anwenden dürfen, ob wir nun rein reflektierende oder gemischt reflektierende und brechende Systeme betrachten. *Flügge.*

Ein apochromatisches Fernrohrobjektiv großer relativer Öffnung und von kleinem Durchmesser.

(Un objectif apochromatique de lunette à grande ouverture relative et de petit diamètre.)

Von H. L. Tardy. *Revue d'Opt.* **6.** *S. 264—267. 1927.*

Es gibt zahlreiche Instrumente, die die Konstruktion von Objektiven kleiner Durchmesser mit vorzüglicher chromatischer Korrektion und ziemlich großer relativer Öffnung erfordern: Goniometer, Monochromatoren, Spektrometer usw. Diesem Zweck soll das hier beschriebene Objektiv dienen. Hier sind hauptsächlich Glas, Quarz und Flußspat kombiniert. Die Quarz-Flußspatobjektive kehren bekanntlich das sekundäre Spektrum in der Weise um, daß die Schnittweite für das Gelbgrün d ein Maximum statt des üblichen Minimums hat. Bringt man einen derartigen Quarz-Fluorit-Achromat mit einem Glasachromaten zusammen, so läßt sich demnach das sekundäre Spektrum wesentlich verringern. Solche Objektive zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

1. Das sekundäre Spektrum übersteigt nicht 0,3 $^0/_{00}$ der Brennweite und ist darum kleiner als $^1/_{10}$ des für Achromate üblichen Betrages.

2. Die Stärken der einzelnen Linsen sind dabei von derselben Größenordnung wie bei den gewöhnlichen Objektiven, so daß sie auch die gleichen sphärischen Abweichungen besitzen. Die relativen Öffnungen 1 : 7, sogar 1 : 6 sind also noch erreichbar.

Die Konstruktions- und Korrektionsdaten des neuen Typus sind folgende:

$F/7$; $F = 150$ mm		Sekundäres Spektrum		
		Wellenlänge	Neuer Apochromat	Gewöhnl. Achromat
$r_1 = + 68{,}2$		768	$+ 4 \cdot 10^{-5} \cdot F$	$+ 73 \cdot 10^{-5} \cdot F$
	$d_1 = 1{,}2$ Kron			
$r_2 = + 121{,}5$		656	$- 3$	0
	$d_2 = 1{,}3$ Quarz			
$r_3 = + 82{,}7$		589	$+ 5$	$- 38$
	$d_3 = 1{,}7$ Fluorit			
$r_4 = - 34{,}7$		486	0	0
	$d_4 = 1{,}3$ Flint			
$r_5 = + 34{,}7$		434	$- 31$	$+ 171$
	$d_5 = 1{,}7$ Kron			
$r_6 = - 136{,}8$		405	$- 5$	$+ 350$

Die Verwendung von Flußspat beschränkt den Durchmesser auf etwa 30 mm.

Flügge.

Ueber das Hartmannsche Verfahren der Objektivprüfung.

(*Sur la méthode de Hartmann pour l'étude des objectifs.*)

Von G. Siadbei. *Revue d'Opt.* **6**. *S. 257—263. 1927.*

Eine sorgfältige Untersuchung zeigt, daß die Prüfung eines Objektivs in einem konjugierten Bildpunkt keine genauen Ergebnisse über das Verhalten des Objektivs unter anderen als den Versuchsbedingungen liefern kann. Die Änderungen des Berechnungsquotienten des Fabrikationsmaterials in einer zur optischen Achse senkrechten Richtung sowie die Unvollkommenheiten der Flächen machen die Aufstellung einer zahlenmäßigen Beziehung zwischen den Aberrationen und der Lage des konjugierten Punktes unmöglich. Lehmann hat einen Ausdruck abgeleitet, und zwar durch einfache Differentiation der Formel für dünne Linsen, welcher die Aberrationswerte festlegt, wenn man von einem konjugierten Punkt zu einem benachbarten übergeht. Die experimentelle Nachprüfung der Formel zeigt jedoch, daß sie nicht allgemein gilt und nur auf optische Systeme anwendbar ist, die den dünnen Linsen hinreichend ähnlich sind. *Flügge.*

Ueber die Normung von Einschraubthermometern.

Von S. Erk. *Die Meßtechnik,* **3**. *S. 200 u. 259. 1927.*

Anschließend an die Normung der Druckmeßgeräte nahm der Normenausschuß der deutschen Industrie auch die Normung der Thermometer in Angriff. Angesichts der Vielgestaltigkeit der Aufgabe beschränkte er sich aber auf die Normung armierter Thermometer, wie sie an Maschinen, Rohrleitungen, Kesseln usw. eingebaut werden. Es wird nun zuerst die historische Entwicklung der Normung geschildert, das Zusammenarbeiten mit deutschen und ausländischen Normenorganisationen, dann die Anforderungen erläutert, die in betriebstechnischer, meßtechnischer und wirtschaftlicher Beziehung von Herstellern, Verbrauchern und aus den Kreisen der Wissenschaft an die Normgeräte gestellt werden. Die Normen der Thermometer für die Messung von Flüssigkeiten und gesättigten Dämpfen stehen unmittelbar vor der Veröffentlichung, während die Thermometer für die Messung von überhitzten Dämpfen entsprechend den größeren meßtechnischen Schwierigkeiten noch weniger weit entwickelt sind. Im Verlauf der Normungsarbeit wurde der NDI durch die Ausführung von Versuchen durch ein wissenschaftliches Institut und beteiligte Firmen unterstützt. Auch für die in Vorbereitung befindlichen Thermometernormen für Heißdampf sind umfangreiche Versuche in Gang. Im Anschluß an die vom NDI vorgesehenen Toleranzen für Meßfehler wird in der Arbeit noch kurz das deutsche Temperaturgesetz besprochen. Die hauptsächlichsten Typen der geplanten Normen sind in Abbildungen wiedergegeben. *S. Erk.*

Bücherbesprechungen.

E. Gehrcke, Handbuch der physikalischen Optik. Bd. II, zweite Hälfte, erster Teil. 8⁰. VI, 388 S. mit 114 Abb. und 3 Tafeln. Leipzig 1927. J. A. Barth.

Die zweite Hälfte des zweiten Bandes des Handbuchs der physikalischen Optik besteht aus zwei Teilen.

Walter Mörikofer, Basel, hat den ersten Abschnitt „Bandenspektren" (S. 419 bis 465) bearbeitet. Er behandelt die allgemeinen und physikalischen Eigenschaften der Bandenspektren, die empirischen Gesetzmäßigkeiten im Bau der Bandenspektren und die Theorie der Bandenspektren (Molekülspektren). Den Schluß des Abschnittes bildet eine Zusammenstellung der neueren Literatur über die Bandenspektren der einzelnen Elemente und ihrer Verbindungen (seit 1909), und zwar ein Verzeichnis der Literatur über Bandenspektren und ein systematisches Literaturverzeichnis, nach Elementen geordnet.

Im folgenden Abschnitt über „Röntgenspektren" (S. 466 bis 554) erstattet Otto Berg, Berlin-Siemensstadt, nach einer einleitenden Übersicht eingehenden Bericht über röntgenspektroskopische Apparate und Methoden und über Emissions- und Absorptionsspektren, über Absorption und Streuung (Compton-Effekt) und über die Röntgenspektralanalyse. Schließlich werden die Systematik des Röntgenspektrums, und zwar die Systematik des normalen Röntgenspektrums und die Abweichungen von der normalen Systematik behandelt.

Den Inhalt für den nächsten Abschnitt liefern die „Gammastrahlen" (S. 555 bis 594). Werner Kolhörster, Berlin, hat alles Wissenswerte über die Gamma-Strahlen und ihre Beziehungen zueinander, über die Natur der Gammastrahlen und ihre Schwächung, Streuung, Absorption und Wellenlänge zusammengestellt. Er berichtet noch über die Sekundärstrahlen, die Ionisation, die Lumisiszenz und Verfärbungserscheinungen, die photographischen, chemischen und biologischen Erscheinungen und über die Höhenstrahlung.

P. Zeeman und T. L. de Bruin, Amsterdam, zeichnen für den Abschnitt „Magnetische Zerlegung der Spektrallinien" (S. 595 bis 682) verantwortlich. Nach einem einleitenden geschichtlichen Überblick behandeln sie die Bedingungen für eine erfolgreiche Zerlegung, und zwar das Magnetfeld, die Spektroskope und die Lichtquellen. Dann folgen unter anderem eine Systematik der Spektralserien, der Larmorsche Satz, die Theorie des Paschen-Back-Effekts, die magnetische Zerlegung von Bandenlinien, die Magnetooptik der Sonne, die neue Quantenmechanik und die Theorie des Kreiselelektrons. Eine wertvolle Beigabe bildet ein ausführliches, aus fünf Teilen bestehendes Literaturverzeichnis des ganzen umfangreichen Stoffgebietes.

Walter Steubing, Aachen, hat die Bearbeitung des Abschnittes über den „Stark-Effekt" (S. 683 bis 736) durchgeführt. Er behandelt die Untersuchungsmethoden und die Spektra der Elemente im Stark-Effekt, und zwar die Linienspektra und Serienbeziehungen von 22 Elementen, die Bandenspektra und die kontinuierlichen Gasspektra. Außerdem wird berichtet über den molekularelektrischen Effekt und die Linienverbreiterung, über die Beziehung der Druckverschiebung von Spektrallinien und des Poleffekts zum Starkeffekt und über die Demonstration und Theorie des Stark-Effekts. Am Ende ist ein Literaturhinweis für die Elemente gegeben.

Den Schluß des vorliegenden Buches bildet ein Referat über „Atomtheorien" (S. 737 bis 807) von Herbert Cremer, Berlin. Auf die Besprechung einiger älterer Atommodelle folgt ein Bericht über den Aufstieg der Bohrschen Theorie und die Weiterentwicklung dieser Theorie, die Krise der Atomphysik uud die Theorien von Heisenberg und Schrödinger. *H. Hartinger.*

E. Gehrcke, Handbuch der physikalischen Optik. Bd. II, zweite Hälfte, zweiter Teil. 8⁰. X, 295 S. mit 89 Abb. Leipzig 1928. J. A. Barth.

Gegen das Ende des Jahres 1927 hat uns der Verlag J. A. Barth, Leipzig, die Schlußlieferung des Gehrckeschen Handbuches der physikalischen Optik beschert, den zweiten Teil der zweiten Hälfte des Bandes II. Über den in dieser Schlußlieferung behandelten Stoff ist folgendes zu berichten.

Über „Allgemeine Grundlagen der Temperaturstrahlung" (S. 809-834) berichtet Fritz Schröter, Berlin-Schmargendorf. Im besonderen bespricht er die elektromagnetische Wellennatur der Strah-

lung, den Sonderfall der Temperaturstrahlung, die Strahlung von Fläche zu Fläche mit den einschlägigen Definitionen, die Beziehungen zwischen Temperaturstrahlung und zweitem Hauptsatz der Thermo-Dynamik, den schwarzen Strahler und das Kirchhoffsche Gesetz nebst Folgerungen und Meßeinrichtungen.

Über die „Strahlung des schwarzen Körpers“ (S. 835—856) selbst verbreitet sich dann eingehend Ernst Gehrcke, Berlin. Nach einer kurzen Darlegung des Begriffes des schwarzen Körpers nach der theoretischen und praktischen Seite wird auf das Stefan-Boltzmannsche Gesetz und auf das Wiensche Verschiebungsgesetz eingegangen. Dann wird die Temperaturmessung an Gestirnen, die Energieverteilung des schwarzen Körpers und die theoretische Ableitung der Energieverteilungsfunktion behandelt.

Die Zusammenstellung des Wissenswerten über die „Selektive Temperaturstrahlung“ (S. 857 bis 906) hat wieder Fritz Schröter übernommen. Er bespricht die Kennzeichnung und Auffassung der thermischen Selektivstrahlung, die schwarze Temperatur, die Methode der Isochromaten, die optische Pyrometrie, die wahre Temperatur, die Farbtemperatur und die Helligkeitstemperatur von Selektivstrahlern, um dann auf die Strahlung der blanken Metalle, auf die nichtmetallischen Selektivstrahler und die Temperaturstrahlung von Gasen und Dämpfen ausführlicher einzugehen.

Hieran anschließend gibt Franz Skaupy, Berlin-Lichterfelde, eine Darstellung der „Technischen Lichtquellen“ (S. 907—916), die die modernen elektrischen Glühlampen selbstverständlich besonders berücksichtigt.

Der nun folgende Abschnitt, bearbeitet von Stjepan Mohorovičič, Zagreb, ist der „Optik bewegter Körper“ (S. 917—1013) gewidmet. Eingehend werden die elementare Theorie und ihre experimentellen Beweise sowie die elektromagnetische Theorie und ihre Folgerungen gebracht. Das Gebiet Licht und Gravitation, nämlich die elementare Theorie nebst deren experimentellen Beweise und die allgemeine Relativitätstheorie, schließt sich an.

Eine Abhandlung über „Die Natur des Lichtes“ (S. 1014—1032) von Walter Noddack, Charlottenburg, die auf das Geschichtliche und Allgemeine, auf die Emanationstheorie, Undulationstheorie, elektromagnetische Lichttheorie und die Lichtquantentheorie eingeht, bildet den Abschluß des ganzen Werkes, abgesehen von einem interessanten Nachtrag E. Gehrckes „Zur Geschichte der Energiequanten“ auf Seite 1033.

Es folgen nur noch Berichtigungen (S. 1034—1035), ein Namenverzeichnis von 25 Seiten und ein Stichwörterverzeichnis von 44 Seiten.

In den Besprechungen der einzelnen Lieferungen des nun vollständig vorliegenden Gehrckeschen Handbuches der physikalischen Optik ist versucht worden, den Inhalt des jeweils bearbeiteten Stoffgebietes anzudeuten. Auf diese Weise dürfte die überragende Bedeutung dieses Werkes am besten dargelegt worden sein. Die drucktechnische Ausstattung und die Art der Darstellung ist früher schon rühmend hervorgehoben worden. Der Verlag, der Herausgeber und die Bearbeiter haben mit diesem Werk eine Leistung vollbracht, die Dank und Anerkennung im höchsten Maße verdient. *H. Hartinger.*

Walter Pflaum, Beitrag zur Mengenmessung strömenden Dampfes mittels Stauringen. Forschungsarbeiten, Heft 298. Berlin 1928. VDI-Verlag, DIN A 4. IV, 41 S. mit 59 Abb. und 19 Zahlentafeln. Brosch. 5 RM.

Der Verfasser hat im Maschinenlaboratorium der Technischen Hochschule Danzig planmäßige Versuche vorgenommen zur Ermittlung der einzelnen Faktoren, welche den Beiwert eines Stauringes (Staurandes) bei der Dampfmengenmessung beeinflussen. Als solche treten auf: das Öffnungsverhältnis, der Dampfzustand, der Rohrdurchmesser, die Abmessungen des Stauringes, der Meßdruck. Auf Grund der sorgfältigen Versuchsergebnisse, die in sehr übersichtlichen Kurvendarstellungen zum Ausdruck gebracht werden, konnte eine zur Dampfmessung besonders geeignete Ausführungsform des Stauringes angegeben werden, d. h. eine Form, die vermöge geeigneter Maßverhältnisse und günstiger Anordnung der Druckentnahmestellen eine möglichst große Anzeigeempfindlichkeit gegenüber Mengenänderungen aufweist, ohne dabei selbst viel Energie zu verbrauchen.

Über den Rahmen des eigentlichen Themas der Arbeit hinaus behandelt der Verfasser ein meßtechnisches Problem, bei welchem schon viele Forscher ihre eigenen Erfahrungen machen

mußten, sobald sie nämlich durch enge Bohrungen oder Röhrchen Wasser- oder Dampfdrücke in Anzeigegeräte (Flüssigkeitsmanometer) zu leiten hatten. Durch die Mühe, die sich der Verfasser gemacht hat, die Schwierigkeiten solcher Messungen infolge der Einwirkung der Kapillarkräfte aufudecken und einer besonderen Betrachtung zu unterziehen, wird er allen mit solchen Messungen noch nicht Vertrauten viel Ärger und Zeit ersparen. Deshalb sei das vorliegende Heft dem Ingenieur der Praxis wie auch dem des Laboratoriums in gleicher Weise empfohlen, zumal es sich durch klare Darstellung auszeichnet. *Franz Levy.*

Max Mayer, Nomographie des Bauingenieurs. Sammlung Göschen. 111 S. mit 47 Fig. Berlin und Leipzig 1927. Walter de Gruyter & Co. 1.50 RM.

Der Verfasser hat sich insbesondere die Aufgabe gestellt, dem Bauingenieur an Hand passend gewählter Beispiele aus der Statik und dem Eisenbetonbau die praktische Bedeutung und die bekannten Vorteile des Rechnens mit graphischen Tafeln zu zeigen. Diese Aufgabe hat er insofern gelöst, als das Büchlein sicher dabei mithelfen wird, auch in den Reihen der Bauingenieure die Nomographie noch weiter zu verbreiten.

Das Gebiet der Nomographie wurde in dem vorliegenden Bändchen in der Weise abgegrenzt, daß zu ihr nur Tafeln mit Punktskalen oder „Leiterntafeln" gezählt werden; die in manchen Fällen recht brauchbaren Tafeln mit Kurvenskalen oder „Kurvenblätter" werden deshalb nicht behandelt. Nicht aufgenommen sind auch eigentümlicherweise die praktisch vielfach anwendbaren Tafeln für Gleichungen mit nur zwei Veränderlichen.

Leider enthält das Büchlein — wie übrigens fast jede neue Veröffentlichung über die Nomographie — verschiedene neue Bezeichnungen für bekannte Tafelformen oder einzelne Teile von solchen. Diese neuen Bezeichnungen — erwähnt seien z. B. die Bezeichnungen: Leiterntafel, Skalenblatt, Trägertafel, Drei-Strahlen-Tafel, Reziprokentafel, Poltafel, Nomogramme mit Linienfeldern, die Deckleiter und Zirkelnomogramm — sind teilweise derart, daß auch der mit der Nomographie Vertraute einige Zeit braucht, um zu erfahren, was gemeint ist. Diese nicht leicht verständliche Art der Bezeichnung zeigt sich auch bei den Überschriften der einzelnen Abschnitte; besonders unglücklich erscheint hierbei die Bezeichnung „Tafeln mit Kurvenskalen und Ablesegraden", die sich auf Punktskalentafeln mit beliebigen Skalenträgern bezieht. *P. W.*

H. Schwerdt, Einführung in die praktische Nomographie. 122 S. mit 62 Abb. Berlin 1927, Otto Salle. Geb. 3,30 RM.

Das vorliegende neue Buch über das Entwerfen von graphischen Rechentafeln ist im Rahmen der von E. Wasserloos und G. Wolff herausgegebenen, als „mathematisch-naturwissenschaftlich-technische Bücherei" bezeichneten Sammlung erschienen; seine eigentliche Aufgabe soll darin bestehen, „diejenigen Gedankengänge und Überlegungen an Beispielen auszuführen, die bei der Konstruktion eines Nomogrammes jedesmal von neuem auftreten". Vorausgesetzt wird nur die Kenntnis „der einfachsten Beziehungen zwischen Koordinaten und einiger graphischer Darstellungen".

Das Buch ist in fünf Abschnitte eingeteilt, in denen Leitern, Funktionsnetze, Netztafeln, Leitertafeln und theoretische Fragen behandelt werden.

Der mit „Leitern" — gemeint sind damit Punktskalen mit geradlinigem Träger — überschriebene Abschnitt beschäftigt sich mit der Herstellung von Tafeln für Gleichungen oder Formeln mit zwei Veränderlichen, die als Doppelleitern oder Doppelskalen oder auch nur als Funktionsleitern bezeichnet werden. Im Anschluß an die Besprechung der logarithmischen Skala wird an dem Beispiel $\alpha = 1{,}78 \sqrt{h}$ die Verwendung dieser Skala gezeigt; dabei müßte aber gesagt werden, daß man in der „praktischen" Nomographie eine Tafel für das gewählte Beispiel nicht mit Verwendung der logarithmischen Skala herstellt. Ähnliches gilt von dem Beispiel $z = \frac{x}{60 - x}$, das im Zusammenhang mit den „projektiven Leitern" behandelt wird.

Als „Funktionsnetze" werden zwei, durch die Gleichungen $\xi = f(x)$ und $\eta = g(y)$ bestimmte und nach x und y bezifferte Scharen von Parallelen zu den Koordinatenachsen bezeichnet; dabei werden an Hand des mit $\xi = x^2$ und $\eta = y^2$ bestimmten „Potenznetzes" und des mit $\xi = \log x$ und $\eta = \log y$ bestimmten „logarithmischen Netzes" die Vorteile von solchen, durch ungleichmäßige

Skalen entstehenden Parallelenscharen an gut gewählten Beispielen gezeigt. Die nach Einzeichnung einer bezifferten Kurvenschar in ein solches Funktionsnetz entstehenden Tafeln werden bei den „Netztafeln“ als Tafeln mit verzerrten Netzen bezeichnet.

Bei den „Netztafeln“ ist eine „Strahlentafel mit mechanisierter Ausführung“ besprochen; es handelt sich dabei um eine Tafel mit einer durch einen Punkt gehenden Geradenschar, die durch ein drehbares Lineal und eine Punktskala bestimmt ist. In der dazugehörigen Abbildung ist der „drehbare Zeiger“ zu kurz gezeichnet; außerdem wäre darauf hinzuweisen, daß man bei solchen Vorrichtungen die drehbare Gerade besser auf der Unterfläche eines durchsichtigen Zellhornstreifens angibt als durch die Kante eines Lineals.

In dem Abschnitt über „Leitertafeln“ werden die praktisch wichtigsten Formen von Tafeln mit Punktskalen und einer Geraden als Ablesekurve besprochen und an passenden Beispielen vorgeführt. Im Zusammenhang mit den mehrteiligen Tafeln hätte auf diejenige Art der Benutzung hingewiesen werden können, bei der die Kante eines Lineals an eingesteckte Nadeln angeschlagen wird.

Unter „theoretische Fragen“ ist die Rede von projektiven Verzerrungen und dem dualen Zusammenhang zwischen den Tafeln mit Kurvenskalen und denen mit Punktskalen.

Zu begrüßen sind die in einem Anhang gemachten Angaben über gebrauchsfertige, in den Handel gebrachte graphische Rechentafeln.

Ohne damit den Wert des Buches herabsetzen zu wollen, möchte ich noch einige allgemeine, die Bezeichnungen betreffende Bemerkungen beifügen. Der Verfasser übersetzt „Nomographie“ mit „Lehre von den Rechenzeichnungen“; verständlicher und sachlicher ist doch die Bezeichnung „Lehre von den graphischen Rechentafeln“. Benützt man die Bezeichnung „graphische Rechentafel“ an Stelle von „Nomogramm“, so ergibt es sich von selbst, daß man im Zusammenhang damit auch von der „numerischen Tafel“ spricht und dabei auf die Vorteile der ersteren Tafelart im Vergleich zur letzteren hinweist. Von der Benennung „Nomogramm“ sagt der Verfasser, daß sie in dem Worte „Netztafel“ eine Verdeutschung gefunden hat; wenn man das Wort Nomogramm überhaupt benutzen will, so sollte man daran festhalten, daß ein Nomogramm eine graphische Tafel irgendwelcher Art ist.

Die vom Verfasser als Doppelleitern bezeichneten Tafeln für Gleichungen mit zwei Veränderlichen gehören eigentlich in den mit „Leitertafeln“ überschriebenen Abschnitt. Noch nicht gelesen hatte ich bis jetzt die Bezeichnung „Gleichschrittleiter“ an Stelle von „gleichmäßiger“ Leiter oder Skala; im Gegensatz dazu kann man bei einer „ungleichmäßigen“ Skala aber doch nicht gut von einer „Ungleichschrittleiter“ sprechen. Im Zusammenhang mit einer „Fluchtlinientafel mit Netz“ ist von einer „Skalenschar“ und einem „Skalenpunkt“ die Rede; fast hat man den Eindruck, daß damit die Worte „Leiterschar“ und „Leiterpunkt“ umgangen werden sollten. Ich stehe nach wie vor auf dem Standpunkt, daß man das in der deutschen Sprache eingebürgerte Wort „Skala“ benutzen soll; unterscheidet man dann zwischen Punktskala und Kurvenskala (oder auch Linienskala), und teilt man die Tafeln der Zahl der Veränderlichen entsprechend ein, so ergibt sich damit ein fester Rahmen für die Lehre von den graphischen Rechentafeln.

Im Zusammenhang mit den „Doppelleitern“ befindet sich der fettgedruckte Satz „alle nomographischen Darstellungsmittel werden nach der Größe benannt, die in regelmäßiger Teilung gezeichnet wird“; der Sinn und der Zweck dieser Bemerkung ist mir unverständlich. Bei der Erwähnung des Rechenschiebers im Vergleich zur graphischen Tafel hätte auch darauf hingewiesen werden können, daß die letztere die Kommastellung ohne weiteres ergibt.

Auch bei der vorliegenden Einführung in die Nomographie ist mir — wie bei fast allen in den letzten Jahren erschienenen Schriften über diesen Zweig der „praktischen“ Mathematik — aufgefallen, daß bei den Tafeln mit Punktskalen für Formeln mit zwei Veränderlichen die praktisch vielfach anwendbaren Tafelformen mit langen Skalen überhaupt nicht erwähnt werden. Ich habe auf solche Tafeln bereits im Jahre 1911 in der inzwischen eingegangenen Zeitschrift für Mathematik und Physik hingewiesen. *P. W.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. E. Kohlschütter in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. Straubel in Jena,
Prof. Dr. F. Weidert in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **Juni 1928.** Sechstes Heft.

Die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1927.

(Fortsetzung und Schluß von S. 218.)

Abteilung III.

Unterabteilung IIIa.

123. Zustandsgleichung der Gase[1]).

Die im Druckbereich von 100 bis 200 Atm. bei 0° und 100° C begonnenen Messungen der *pv*-Werte von He, H_2, Ne, N_2 und Ar wurden zu Ende geführt. Der Anschluß der *pv*-Werte bei 100 Atm. an die früheren in der Reichsanstalt durchgeführten Meßreihen ist trotz des kleineren Druckgefäßes von ungefähr 50 cm³ Inhalt derart, daß die Abweichungen der experimentell gefundenen von den nach den alten Formeln berechneten *pv*-Werten durchweg innerhalb der Fehlergrenzen liegen. Bei höheren Drucken nehmen die Abweichungen der beobachteten von den nach den Formeln extrapolierten *pv*-Werten teilweise beträchtlich zu. Sie betragen bei 0° bzw. 100° C und 200 Atm. in Prozenten der *pv*-Werte ausgedrückt:

bei He: − 0,11 bzw. − 0,01,
„ H_2: + 0,05 „ + 0,15,
„ Ne: − 0,07 „ − 0,39,
„ N_2: + 0,37 „ − 0,23,
„ Ar: + 1,26 „ − 0,11.

Die Formeln wurden daher neu berechnet und stellen nunmehr alle bisher in der Reichsanstalt bei 0° und 100° C gemessenen Isothermen der betreffenden Gase dar. Die folgende Tabelle enthält die in die empirische Zustandsgleichung

$$pv = A + B\cdot p + C\cdot p^2 + D\cdot p^4$$

einzusetzenden Koeffizienten, wenn $pv = 1$ bei 1 m Hg und 0° C gesetzt wird.

Gas	t °C	A	$B\cdot 10^3$	$C\cdot 10^6$	$D\cdot 10^9$
He	0	0,99931	0,6900	—	—
	100	1,36518	0,6680	—	—
H_2	0	0,99918	0,8200	0,4080	—
	100	1,36492	0,9064	0,1735	—
Ne	0	0,99936	0,6421	0,3367	—
	100	1,36517	0,7385	0,1633	—
N_2	0	1,00062	− 0,6207	5,6800	—
	100	1,36689	0,3830	2,8500	—
Ar	0	1,00129	− 1,2874	3,7486	0,043
	100	1,36780	− 0,2407	2,6220	—

[1]) Otto.

Infolge der Änderung von B_0 und B_{100} war es notwendig, die Korrektionen des Gasthermometers konstanten Volumens auf die thermodynamische Skale neu zu berechnen. Zu diesem Zwecke wurden die experimentell gewonnenen B-Werte in die Formel

$$t_{th} - t_v = p_0 \{2{,}73\,(100 - t_v)\,B_0 + 3{,}73 \cdot t_v\,B_{100} - (273 + t_v)\,B_t\}$$

eingesetzt. Die daraus ermittelten Differenzen $t_{th} - t_v$ zwischen der Temperatur in der thermodynamischen Skale und der Temperatur nach dem Gasthermometer konstanten Volumens sind für $p_0 = 1$ m Hg in der folgenden Tabelle in $^1/_{1000}$ Graden enthalten:

t_v °C	He	H_2	Ne	N_2	Ar
400	+31	—	+34	+151	+89
350	+25	—	+27	+113	+70
300	+19	—	+21	+80	+54
250	+14	—	+15	+51	+38
200	+9	+16	+10	+26	+25
150	+4	+8	+4	+12	+12
100	0	0	0	0	0
50	−2	−6	−3	−9	−11
0	0	0	0	0	0
−50	+3	+8	+6	+16	+15
−100	+7	+17	+13	+45	+41
−150	+15	+31	+24	—	—
−200	+25	+53	+42	—	—
−250	+39	—	—	—	—
−260	+42	—	—	—	—

124. Neigung der Isothermen von Gasen bei kleinen Drucken[1].

Frühere Beobachtungen von Henning und Heuse und dann von Heuse allein ergaben, daß die Neigung der 0°-Isotherme im pv-p-Diagramm von He, H_2, Ne und N_2 unterhalb einer Atmosphäre mit kleiner werdendem Druck stark abnahm, während sie oberhalb einer Atmosphäre mit den aus Messungen bis zu 100 Atm. gewonnenen Werten übereinstimmte.

Um diese Beobachtungen nachzuprüfen, wurde eine Versuchsanordnung hergestellt, bei der mittels optischen Kontaktes an Glasspitzen Drucke von 300 bis 1200 mm Hg eingestellt werden können. Die Volumänderung des Gases wird durch ein- oder ausfließendes Quecksilber bewirkt. Außer dem Gasgefäß aus Jenaer Glas 16^{III} wird auch die Hg-Säule zur Druckmessung mit einem Bade schmelzenden Eises umgeben. Die bisher erreichte Genauigkeit bei Füllungen mit He und N_2 gestattet noch nicht, ein abschließendes Urteil zu fällen. Die Versuche werden fortgesetzt.

125. Temperatur der Azetylensauerstoffflamme[2].

Die Temperatur der Flamme des Azetylen-Sauerstoffgebläses wurde nach der Kurlbaumschen Methode der Linienumkehr gemessen. Zu dem Zweck wurde die Flamme durch Lithiumkarbonat gefärbt und von dem Licht des positiven Kraters einer Bogenlampe durchstrahlt. Diese Strahlung wurde durch einen rotierenden Sektor oder Glasplatten bekannter Durchlässigkeit so weit geschwächt, daß in dem Spektrometer die von der Flammenfärbung herrührende rote Lithiumlinie gerade auf dem Hintergrunde des kontinuierlichen Spektrums der Bogenlampe verschwand. In diesem Falle ist die wahre Temperatur der Flamme gleich der schwarzen Temperatur der auf die Flamme treffenden kontinuierlichen Strahlung.

Die notwendige Voraussetzung, daß die gefärbte Flamme den Gesetzen der Wärmestrahlung gehorcht, wurde durch Parallelversuche an der Bunsenflamme, deren Temperatur bekannt ist, sehr wahrscheinlich gemacht. Das Reflexionsvermögen der Flamme wurde als unmeßbar klein gefunden. Durch Beobachtung der Gesamtstrahlung konnte festgestellt werden, daß die Flamme infolge der Färbung keine merkliche Temperaturabnahme erlitt.

In dem Umstande, daß die Flamme Schichten sehr verschiedener Temperatur enthält und daß die angewandte Methode einen gewissen Mittelwert für die Temperatur der durchstrahlten Schichten liefert, liegt die Grenze für die Meßgenauigkeit. Wegen der sehr hohen Temperatur der

[1] Heuse, Otto. [2] Henning, Tingwaldt.

Flamme konnte das zur Färbung dienende Salz nur am äußersten Rande in die Flamme gebracht werden. Infolge der beträchtlichen Lichtabsorption in den verschieden heißen Schichten der gefärbten Flamme ergaben sich bis zu 500° höhere Temperaturen, wenn das zur Färbung dienende Salz auf der dem Spektrometer abgekehrten Seite der Flamme, als wenn es auf der ihm zugekehrten Seite eingeführt wurde.

Die Flamme wurde an zahlreichen Stellen in verschiedener Höhe über dem Brennerrand und in verschiedenen Abständen von der Vertikalachse durchstrahlt. Ferner wurde das Volumenverhältnis von Azetylen und Sauerstoff, das normalerweise 1 : 1 ist, verändert. Während selbst die dreifache Sauerstoffmenge nur eine geringe Temperaturabnahme ergab, konnte bei nur 7 % Azetylenüberschuß neben einer bedeutenden Vergrößerung der Flamme bereits eine Temperaturerniedrigung von 60° festgestellt werden.

Die höchste Temperatur wurde zu 3050° gemessen, und zwar bei dem normalen Volumenverhältnis, wenn die Flamme unmittelbar über der Spitze des leuchtenden Kegels durchstrahlt wurde.

Unter Vermeidung jeglicher Flammenfärbung sind nach der Methode der Linienumkehr auch einige Versuche im Spektralgebiet der Kohlensäurebanden bei etwa 4,4 μ angestellt worden. Sie lieferten eine Temperatur, wie sie auch im sichtbaren Gebiet gefunden wurde, falls die Färbung der Flamme auf der dem Spektrometer zugekehrten Seite erfolgte.

Ein Teil der Mittel zur Durchführung der Versuche wurde von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und von dem Fachausschuß für Schweißtechnik zur Verfügung gestellt.

126. Widerstandsthermometer bis 1100°[1].

Die bisherigen Versuche, die Platin-Widerstandsthermometer noch zwischen 660 und 1063° als sekundäre Normalthermometer zu verwenden, haben nicht zu befriedigenden Ergebnissen geführt. Nachdem es möglich geworden ist, den Platindraht auf ein Porzellankreuz aufzuwickeln und somit die in hoher Temperatur störenden Einflüsse eines Glimmerkreuzes zu vermeiden, konnten die Versuche mit Aussicht auf Erfolg wieder aufgenommen werden. Sie haben bisher gezeigt, daß ein Platindraht von 0,5 mm Dicke, der nach genügender Alterung mehrere Stunden auf 1100° geheizt wurde, nur so geringe dauernde Widerstandsänderungen erleidet, daß es möglich ist, Temperaturen zwischen 1000 und 1100° mit einer Genauigkeit von etwa $^1/_{10}$° sicher zu bestimmen. Die Messungen, welche die Aussicht eröffnen, das Thermoelement als sekundäres Temperaturnormal zwischen 630 und 1063° auszuschalten, werden fortgesetzt.

127. Die Temperaturskale zwischen − 210 u. − 230°[2].

Es wurden mehrere Platin-Widerstandsthermometer mit einem Heliumgasthermometer in dem bereits im vorigen Bericht erwähnten Aluminiumthermostaten zwischen − 210 und − 253° verglichen. Während die zeitliche Temperaturkonstanz sehr befriedigend war, so zeigten sich räumliche Unterschiede bis zu 0,2°. Zwecks besseren Temperaturausgleiches wurde der Aluminiumthermostat durch einen Kupferthermostaten ersetzt und die Heizwickelung günstiger gestaltet.

128. Internationaler Austausch von Thermoelementen[3].

Die im vorigen Bericht erwähnten Thermoelemente sind nunmehr auch an die Temperaturskale des National Physical Laboratory in Teddington angeschlossen worden. Aus der vom Bureau of Standards bearbeiteten Zusammenstellung ist ersichtlich, daß im ganzen nur eine Meßgenauigkeit von etwa 0,5° erzielt wurde. Um den Vergleich der Temperaturskalen mit größerer Sicherheit zu ermöglichen, werden auf Anregung des Bureau of Standards in jedem der drei großen Staatsinstitute erneut Thermoelemente für den internationalen Austausch vorbereitet.

129. Die internationale Temperaturskale[3].

Der seit dem Jahre 1923 wieder aufgenommene Briefwechsel zwischen dem Bureau of Standards, dem National Physical Laboratory und der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt hatte auf dem Gebiet der internationalen Temperaturskale in fast allen Punkten zu einer Übereinstimmung geführt. Auf Veranlassung des Bureau of Standards fand im September 1927 in London ein persönlicher Meinungsaustausch zwischen den drei Staatsinstituten statt, durch den die letzten noch verbliebenen Differenzpunkte beseitigt wurden. Es wurde zugleich ein gemeinsamer Entwurf der Bestimmungen über eine internationale Temperaturskale abgefaßt und dem Comité International sowie der Conférence Générale des Poids et Mesures Ende

---

[1]) Henning und Sewig.
[2]) Henning, Otto, Sewig. [3]) Henning.

September 1927 durch den Vertreter der Vereinigten Staaten von Amerika zwecks internationaler Annahme vorgelegt.

Die vorgeschlagene internationale Skale stimmt zwischen 0 und 630° mit der im deutschen Gesetz und den zugehörigen Ausführungsbestimmungen festgelegten Temperaturskale überein und weicht im übrigen Temperaturgebiet nur um Beträge ab, die kleiner als die unvermeidlichen Beobachtungsfehler sind.

Eine vom Bureau International übersandte Denkschrift der Herren Keesom und Tuyn betreffend die gasthermometrische Temperaturskale und ihr Zusammenhang mit der thermodynamischen Skale wurde ausführlich beantwortet und hierbei der Standpunkt vertreten, daß die bisherigen Messungen nicht ausreichen, um mittels des Gasthermometers einen noch näheren Anschluß an die thermodynamische Skale zu erreichen, als es bei der vorgeschlagenen internationalen Temperaturskale der Fall ist.

130. Schmelzwärme von Zinn[1]. Mit dem Ziel, genaue kalorimetrische Messungen in höheren Temperaturen durchzuführen, wurden zunächst einige Versuche nach einer dem Bunsenschen Eiskalorimeter ähnlichen Methode zur Bestimmung der Schmelzwärme des Zinns vorbereitet. Der sonst mit Eis und Wasser angefüllte Raum des gläsernen Kalorimetergefäßes wurde mit einer bei etwa 230° schmelzenden Mischung von Kali- und Natronsalpeter beschickt und unter Ausschluß von Luft gegen die Umgebung durch Quecksilber abgesperrt. Die Volumenänderung des schmelzenden Salpeters ergab sich aus der Verschiebung des an die Atmosphäre grenzenden Quecksilbermeniskus in einem Kapillarrohr. Das Kalorimetergefäß wurde von einem Bad mit Salpeter umgeben, dessen Zusammensetzung mit dem Salpeter des Kalorimetergefäßes übereinstimmte und dessen Temperatur durch einen Ölthermostaten auf dem Schmelzpunkt erhalten wurde. Es gelang ohne Schwierigkeit, einen Mantel von festem Salpeter in dem Kalorimetergefäß zu erzeugen und mehrere Versuche zur elektrischen Eichung des Kalorimeters durchzuführen.

131. Wärmeleitfähigkeit von Metallen[2]. Nach dem Despretzschen Verfahren wurden Vergleichsmessungen an mehreren Aluminiumlegierungen durchgeführt. Der Meßbereich der Anordnung wurde dadurch vergrößert, daß das Wasser in den Temperaturbädern für die eingespannten Stabenden durch Öl ersetzt wurde. An Stelle der Beheizung mit Gas ist elektrische Erwärmung getreten.

Der thermokraftfreie Kompensator für die Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit von Metallen bei hohen Temperaturen nach der Methode von Kohlrausch ist im Laufe des Jahres geliefert worden. Mit den Versuchen konnte aber noch nicht begonnen werden, da die Arbeitskräfte des Wärmetechnischen Laboratoriums durch die gesteigerte Prüftätigkeit in Anspruch genommen waren und die Untersuchung der Wärmeleitfähigkeit von Eis (s. Ziff. 132) unvorhergesehene, zeitraubende Arbeiten erforderte.

132. Wärmeleitfähigkeit von Eis[3]. Der Apparat und die Herstellung der zuerst untersuchten Platten ist bereits im Tätigkeitsbericht für 1925 beschrieben. Bisher wurden 18 Eisplatten untersucht, die je mehrere Tage erhalten blieben und an jedem Tag auf eine andere Temperatur gebracht wurden.

Die Messungen ergaben zunächst bei Abnahme der Temperatur von -10^0 bis -70^0 ein Anwachsen der Wärmeleitzahl, dann aber zwischen -70^0 und -120^0 eine Abnahme um etwa 50%. Die Erklärung dieses Verhaltens durch das Vorhandensein eines Umwandlungspunktes kommt auf Grund von Beobachtungen über die Wärmedehnung des Eises bis -215^0 (s. Ziff. 133) nicht in Frage.

Zur Aufklärung des unerwarteten Verhaltens wurden zahlreiche Versuche mit wiederholt abgeänderter Meßanordnung, zuletzt ohne Distanzstücke zwischen den Kupferplatten, angestellt.

Endlich wurden dicht unter die beiden Oberflächen der Eisplatte Thermoelemente eingefroren. Nun zeigte sich aus dem Vergleich der Temperaturen unter der Eisoberfläche und in den anliegenden Kupferplatten, daß bei -120^0 ein beträchtlicher Temperatursprung an den Oberflächen der Eisplatte vorhanden war, der bei -10^0 noch nicht bestand. Man könnte nun vermuten, daß bei Abnahme der Temperatur die Eisplatten sich verwerfen und von den Kupferplatten ablösen. Da man jedoch beim Zurückgehen von -120^0 auf -10^0 stets wieder zum ursprünglichen Wert

[1]) Moeller. [2]) Jakob, Erk.
[3]) Jakob, Erk, Fritz.

der Wärmeleitzahl zurückkam, müßte man annehmen, daß diese Verwerfung stets reversibel wäre, was wenig wahrscheinlich ist; und ebenso schwer wäre es zu erklären, daß die Eis- und Kupferplatten am Ende der Versuche noch fest verbunden waren. Eine andere Erklärung wäre die, daß bei tiefer Temperatur die Adhäsion zwischen Eis und Kupfer bedeutend nachläßt und daher ein Temperatursprung entsteht, beruhend auf einer Lockerung der molekularen Bindung, den man sich wohl reversibel vorstellen kann. Ob ein solcher Temperatursprung auch bei anderen Stoffen auftritt, z. B. zwischen Paraffin und Kupfer, soll noch untersucht werden.

Die einzige bisher durchgeführte Versuchsreihe mit eingefrorenen Thermoelementen ergab bei Korrektur des Temperatursprungs für die Wärmeleitzahl des Eises etwa

2,0 $\mathrm{kcal \cdot m^{-1} \cdot Grad^{-1} \cdot h^{-1}}$	bei	-10^0
2,5	„	-80^0
3,7	„	-120^0

mit einer auf $\pm 10\%$ geschätzten Genauigkeit. Die Wärmeleitzahl springt hiernach von 0,48 für Wasser beim Gefrieren auf den vierfachen Betrag und nimmt dann mit abnehmender Temperatur etwa ebenso stark zu wie bei anderen kristallinischen Körpern. Die Versuche werden fortgesetzt.

133. Wärmeausdehnung des Eises[1]).

Im Anschluß an die Bestimmung der Wärmeleitfähigkeit von Eis wurde die thermische Ausdehnung von Eis relativ zu Jenaer Glas 1565 mit dem Henningschen Dilatometer zwischen -20^0 und -253^0 gemessen. Die erforderlichen Eisstäbe wurden durch Gefrieren von Wasser in paraffinierten Papierformen hergestellt. Auf die Stirnflächen wurden Plättchen aus Federstahl gelegt, um das Eindrücken der Spitzen des Dilatometers zu verhüten. Für die Untersuchung bei der Temperatur des flüssigen Wasserstoffes wurde das Quarzglasdilatometer in der im Tätigkeitsbericht für 1926 (Nr. 126) beschriebenen Anordnung verwendet. In dem genannten Temperaturbereich ergab sich für die lineare Ausdehnungszahl β in der Stabrichtung der Beziehung $\beta = 0{,}0000595 + 0{,}000000280_6\,t$. Unterhalb -212^0 wäre hiernach β negativ, was vermutlich auf eine besondere Orientierung der Kristalle zur Stabachse zurückzuführen ist und noch weiter untersucht werden soll.

134. Wärmeübergang bei Kondensation von Satt- und Heißdampf[2]).

Die im Tätigkeitsbericht für 1926 erwähnte Versuchseinrichtung wurde durch automatische Regler für die Gas- und Kühlwasserzufuhr, durch einen Wasserabscheider zwischen Kessel und elektrischem Überhitzer und durch einen Gegenstromvorwärmer vervollständigt, in dem das zuströmende Kühlwasser durch das abfließende verschieden hoch erwärmt werden kann. Von der zuströmenden Dampfmenge wird im Versuchsrohr nur ein kleiner Teil kondensiert, der Rest in einem unmittelbar daran anschließenden zweiten Kondensationsrohr. Die Dampfmenge wird durch Wägung des Kondensates bestimmt, die vom Dampf an das Versuchsrohr übergehende Wärme aus der Menge und Erwärmung des Kühlwassers ermittelt.

Insgesamt wurden an einem 50 cm langen und 1,7 cm weiten Rohr 127 Versuche mit Sattdampf und mit überhitztem Dampf von 210, 240 und 310° bei Atmosphärendruck durchgeführt. Die Dampfgeschwindigkeit konnte zwischen 8 und 112 m/sec, die Kühlwassergeschwindigkeit allerdings nur zwischen 0,055 und 0,02 m/sec geändert werden. Die niedrigste mittlere Wandtemperatur war 65°, die höchste 145°, die entsprechende mittlere Temperatur der Kühlflüssigkeit 21° bzw. 105° (Dampf).

Die Versuche haben ergeben, daß der Wärmeübergang mit zunehmender Dampfgeschwindigkeit und mit abnehmender Wandtemperatur größer wird. Bei Atmosphärendruck, gleicher Dampfgeschwindigkeit und Wandtemperatur gibt Heißdampf im allgemeinen mehr Wärme ab als Sattdampf.

Im einzelnen scheinen die Verhältnisse verwickelter zu sein, als man bisher angenommen hat.

Dem in das Versuchsrohr eintretenden Dampf könnte im Höchstfalle so viel Wärme Q_E entzogen werden, daß er in Wasser von der Temperatur der Rohrwand verwandelt würde; nur ein Bruchteil davon, der Q_W genannt werden möge, wird in Wirklichkeit an die Wand übergehen. Das Verhältnis $\beta = Q_W/Q_E$ ist ein praktisches Vergleichsmaß. Führt man z. B. die gleiche Wärmemenge Q_E einmal durch Sattdampf, ein andermal durch Heißdampf als Wärmeträger in den Eintrittsquer-

[1]) Jakob, Erk. [2]) Jakob, Erk, Fritz.

schnitt des Versuchsrohres ein, so ist diejenige Dampfart der anderen überlegen, bei welcher β größer ist. Bei dem verwendeten Versuchsrohr und Meßgebiet hat sich nun ergeben, daß im allgemeinen hoch überhitzter Dampf auf höhere Werte β führt als Sattdampf, daß jedoch bei Abnahme der zugeführten Wärmemenge Q_E und bei Zunahme der Wandtemperatur sich das Verhältnis schließlich umkehrt. Bei leichter Überhitzung (um wenige Grade) ergab sich für β derselbe oder ein etwas größerer Wert als für Sattdampf. Niemals wurde beim Übergang von Sattdampf zu überhitztem Dampf eine sprunghafte Änderung gefunden.

Eine Erklärung der beobachteten Erscheinungen steht noch aus. Die Nusseltsche Theorie, die einzige bekannte klare Analyse der Vorgänge, stimmt in vielen Stücken mit den Beobachtungen überein, liefert jedoch im allgemeinen größere Wärmeübergangszahlen als die Messung.

Die Meßergebnisse widerlegen die vielfach verbreitete Ansicht, daß der Heißdampf als Medium für Wärmeübertragung dem Sattdampf grundsätzlich unterlegen wäre. Wenn Wärmeaustauscher beim Beschicken mit Heißdampf einen schlechteren Wirkungsgrad ergeben als mit Sattdampf, so dürfte die Ursache vielfach auf der Flüssigkeitsseite liegen. Der Wärmeübergang an das Wasser wird nämlich nach den ausgeführten Versuchen beim Einsetzen des Siedens keineswegs wesentlich besser; die Wand kann vielmehr eine beträchtlich über der Siedetemperatur liegende Temperatur annehmen, und auf der Dampfseite findet dann keine Kondensation und somit ein schlechter Wärmeübergang statt. Der schlechte Wärmeübergang an der Wasserseite kann auf Bildung von Dampfschichten an der Wand zurückgeführt werden, ist vielleicht aber auch durch Ausscheiden von Luft aus dem Wasser verursacht. Da nämlich die Versuche in erster Linie Klärung der Verhältnisse auf der Dampfseite des Versuchsrohres bezweckten, ist gewöhnliches Leitungswasser zur Kühlung verwendet worden.

Die Versuche, die von der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und vom Verein deutscher Ingenieure unterstützt werden, sollen fortgesetzt werden. Eine Veröffentlichung der bisherigen Ergebnisse wird vorbereitet.

135. Verdampfungswärme bei höheren Drucken[1]).

Mit der bisherigen Versuchsanordnung war die Verdampfungswärme des Wassers bis zu 20 at bestimmt worden. Für höhere Drucke wurde eine neue Versuchseinrichtung berechnet und gebaut, wozu die Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft und der Verein deutscher Ingenieure die erforderlichen Mittel gestiftet haben.

Das für 200 at und 365° C berechnete Siedegefäß mit rund 6,5 l Rauminhalt wurde von der Fried. Krupp A.-G. aus Chromnickelstahl geschmiedet. Alle Innenflächen sind vernickelt, die Dichtungsmuttern für die einzuführenden Thermometer und Stromzuleitungen sind aus nichtrostendem Kruppschen Stahl hergestellt. Für die Messung der Dampftemperatur ist ein in besonderer Weise gekrümmtes Platinthermometer in einem Schutzrohr aus nichtrostendem Stahl vorgesehen.

Die für 200 at berechneten Kondensationsgefäße wurden von dem Allgemeinen Deutschen Metallwerk Oberschöneweide aus einer Nickellegierung geschmiedet. An Stelle der bisherigen Abflußhähne sind Spitzenventile getreten.

Der bisher benutzte Wärmeschutzmantel für das Siedegefäß bestand aus einem mit Öl gefüllten und elektrisch geheizten Ringkessel. Hierbei traten durch starke Verdampfung des verwendeten Heißdampfzylinderöles bereits oberhalb 200° Schwierigkeiten auf. An Stelle des Ölmantels wurde daher ein Hohlzylinder aus technisch reinem Aluminium (800 mm lang, 200 mm weit, 50 mm dick) vorgesehen, in den das Siedegefäß eingehängt werden kann. Der Hohlzylinder wurde von der Metallhütte Baer & Co., Rastatt, gegossen.

Zur Messung der Wandtemperatur erhielt der Aluminiummantel zwei parallel der Achse verlaufende Bohrungen von 9 mm lichter Weite und von 300 und 620 mm Tiefe. Die wegen ihrer Lage schwierigen Bohrungen wurden von der AEG-Turbinenfabrik freundlichst ausgeführt.

Der Aluminiumzylinder wird seiner ganzen Länge nach mit einer elektrischen Heizwicklung versehen und gegen Wärmeverluste möglichst gut isoliert. Hierzu ist die von Professor E. Schmidt, Danzig, vorgeschlagene Isolierung durch Luftschichten vorgesehen, die von Aluminiumfolien begrenzt sind.

---

[1]) Jakob, Fritz.

Mit dem Zusammenbau der Versuchsanordnung, deren Fertigstellung durch lange Lieferfristen für einzelne Teile stark verzögert wurde, kann demnächst begonnen werden.

136. Zähigkeitsmessungen[1]). Ein ausführlicher Bericht über die Arbeiten auf diesem Gebiet ist veröffentlicht (s. Anh. 1, Nr. 133). In Fortführung der Messungen wurde die Zähigkeit von Rizinusöl bis 80° bestimmt. Auf Grund der Veröffentlichung hat eine starke Nachfrage nach Eichflüssigkeiten für Zähigkeitsmesser eingesetzt. Die Normalöle müssen jedoch noch Kontrollmessungen unterworfen werden. Die Durchführung dieser und anderer noch beabsichtigter Untersuchungen wird durch die gegen das Vorjahr ungefähr verdoppelte Prüftätigkeit empfindlich verzögert, da Hilfskräfte für die Zähigkeitsarbeiten fehlen.

137. Messung großer Gasmengen[2]). Die Auswertung der gemeinsam mit Dr.-Ing. Kretzschmer, Frankfurt a. Main, ausgeführten Messungen an den Normaldüsen und Normalstaurändern ist nahezu beendigt. Sie haben für Normaldüsen zu dem Ergebnis geführt, daß die Durchflußzahl α mit steigender Reynoldsscher Zahl R (R auf den Durchmesser der Düse bezogen) beträchtlich zunimmt, wie aus der folgenden Zusammenstellung der gefundenen Mittelwerte hervorgeht, deren Genauigkeit auf $\pm 1\,^0/_0$ geschätzt wird:

$10^{-5} R =$	1	3	5	7	9	11
$\alpha =$	$0{,}96_1$	$0{,}96_6$	$0{,}97_7$	$0{,}98_6$	$0{,}99_2$	$0{,}99_5$

Auch aus den früheren Messungen von Jakob und Erk, die sich nur über den Bereich $10^{-5} R = 0{,}7$ bis 3,0 erstreckten, kann man nach Berichtigung einer kleinen Ungenauigkeit einen Anstieg von α mit R entnehmen, worauf in einer Veröffentlichung (Anh. 1, Nr. 153) bereits hingewiesen wurde.

Die Durchflußzahlen für Normalstauränder steigen ebenfalls mit der Reynoldsschen Zahl an, im Durchschnitt um etwa 2 bis $3\,^0/_0$ zwischen $10^{-5} R = 1$ und 7 (R wieder bezogen auf den lichten Durchmesser des Staurandes). Mit zunehmendem Rohrdurchmesser nimmt bei annähernd gleich rauhen Rohren die Durchflußzahl von Staurändern gleichen Öffnungsverhältnisses ab, und zwar bei kleinerem Öffnungsverhältnis und größerem Durchmesser immer weniger, so daß es zunächst wohl nicht erforderlich ist, die Versuche auf Rohre von noch größerem Durchmesser als 1000 mm auszudehnen.

Der soeben beschriebene Einfluß des Rohrdurchmessers auf die Durchflußzahl läßt sich ohne Widerspruch mit dem Ähnlichkeitsprinzip aus dem Einfluß der relativen Rauhigkeit der Rohre erklären. Bei den weiteren, relativ glatteren Rohren ist nämlich die Geschwindigkeit so über den Querschnitt verteilt, daß ein prozentuell größerer Anteil der strömenden Menge nahe der Wand strömt als bei engeren, relativ rauheren Rohren. Der aus dem Staurand austretende Strahl wird daher bei weiteren Rohren, stärker kontrahiert, insbesondere bei großem Öffnungsverhältnis.

Ebenfalls gemeinsam mit Dr. Kretzschmer ausgeführte Versuche über den Druckrückgewinn hinter Staurändern sind nunmehr auch ausgewertet. Sie haben u. a. gezeigt, daß das Maximum des Rückgewinns bei engeren Rohren um $4^1/_2$ bis 5 Rohrdurchmesser hinter dem Staurand liegt, mit zunehmender Rohrweite aber weiter vom Staurand abwandert.

Es fehlt nur noch die Auswertung einiger Versuche mit Staurändern vor und hinter Krümmern zum Abschluß der sehr umfangreichen Arbeit, deren Veröffentlichung somit demnächst erfolgen kann.

Unterabteilung IIIb.

138. Übersicht über die Prüfungen[3]). Im Jahre 1927 wurden folgende Gegenstände geprüft:

I. Ausdehnungsthermometer.

1494	(1049)	feine Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,02 und 0,01°, geprüft in Temperaturen bis 100°, hiervon 350 (258) Kalorimeterthermometer,
2044	(1510)	Thermometer mit Korrektionsangaben in 0,05° und mehr, geprüft in Temperaturen bis 100°, darunter 11 (4) Insolationsthermometer,
127	(101)	Siedethermometer für Höhenmessungen,
259	(132)	Beckmannsche Thermometer,
393	(311)	Tiefseethermometer,
2827	(2218)	hochgradige Thermometer, z. T. geprüft in Temperaturen bis 700°,
88	(121)	tiefgradige Thermometer, darunter 27 (60) Pentanthermometer für Temperaturen bis —190°.
zusammen 7232	(5442)	Thermometer.

[1]) Erk. [2]) Jakob.
[3]) Grützmacher (bis 1. 10.), Jakob, Hoffmann, Heuse, Moeller (bis 15. 10.), Ebert, Erk.

Ferner:			
	690558	(576488)	Fieberthermometer.

II. Elektrische und optische Thermometer.

	20	(8)	Widerstandsthermometer,
	151	(165)	Thermoelemente, darunter 98 (134) aus Platin-Platin-Rhodium, 4 aus einer Legierung von Platinmetallen und Gold, 10 (7) aus Konstantan-Silber, 15 (4) aus Konstantan-Kupfer, 10 (14) aus Konstantan-Eisen, 13 (6) aus Nickel-Chromnickel, 1 (0) aus Kobalt-Platin,
	16	(13)	Millivoltmeter für thermoelektrische Zwecke,
	1	(0)	Meßbrücke für Widerstandsthermometer,
	2	(0)	Proben Widerstandsmaterial, Bestimmung des Temperaturkoeffizienten,
	2	(5)	Pyrometer nach Wanner mit je 2 Meßbereichen und 1 Rauchglas,
	6	(1)	Glühfadenpyrometer nach Holborn-Kurlbaum mit 3 Rauchgläsern,
	2	(0)	„Pyropto"-Glühfadenpyrometer mit 3 Lampen und 1 Rauchglas,
	1	(1)	Mikropyrometer mit 3 Lampen, 4 Rauchgläsern und dreifachem Objektiv,
	18	(11)	Pyrometerlampen, davon 2 mit Rot- und Grünfilter,
	4	(9)	Rauchgläser mit systematischer Untersuchung,
	1	(1)	Milliamperemeter für pyrometrische Zwecke,
	3	(0)	Gesamtstrahlungspyrometer, davon 2 mit 2 Meßbereichen,
	14	(0)	Bandlampen für pyrometrische Zwecke, davon 4 mit Projektionslinse.
zusammen	241	(214)	Apparate.

III. Instrumente für Druckmessungen.

	11	(1)	Quecksilber-Barometer,
	93	(30)	Aneroid-Barometer,
	3	(0)	Barographen,
	103	(134)	Manometer für Messungen bis 1000 kg/cm²,
	7	(3)	Vakuummeter,
	1	(1)	Kolbenpresse mit 2 Hohlzylindern,
	1	(0)	Stempelmanometer mit Differentialkolben bis 500 kg/cm².
	1	(0)	Wasserminimeter,
	1	(0)	Manometer-Probierpumpe,
	3	(0)	Druckventile,
	2	(0)	Elektrische Glühlampen auf inneren Druck geprüft,
	1	(0)	Gasdruck-Uhr,
	1	(0)	2 stufige Ölluftpumpe,
	217	(250)	Tiefsee-Umkippthermometer mit geschlossenem Schutzrohr,
	33	(39)	Tiefsee-Umkippthermometer mit offenem Schutzrohr.
zusammen	478	(458)	Druckmeßinstrumente.

IV. Apparate zur Untersuchung des Erdöls.

	85	(64)	Petroleumprober,
	19	(28)	Flammpunktsprober,
	696	(302)	Zähigkeitsmesser, darunter 487 (110) nach Ubbelohde, 18 (5) für höhere Temperaturen, 27 (17) mit $^1/_{10}$-Gefäß, 11 (8) vierfache und 3 (0) zweifache
	13	(8)	Zähigkeitsmesser nach Vogel-Ossag,
	61	(31)	Kapillaren zum Zähigkeitsmesser nach Vogel-Ossag,
	8	(5)	Siedeapparate für Mineralöle,
	1	(0)	Neuer Flammpunktsapparat (nach Schlüter) untersucht.
zusammen	883	(438)	

V. Sonstiges.

	14	(7) Hygrometer und Hygrographen,
	4	(0) Thermohygrographen,
	9	(0) Thermographen,
	8	(29) Pyrometerrohre (keramische), Bestimmung auf Luftdurchlässigkeit bei etwa 1280°,
	5	(7) Proben auf spezifische Wärme,
	26	(38) Verbrennungskalorimeter (Bestimmung des Wasserwertes auf elektrischem Wege),
	4	(3) Kohlenprobe und Baumwolle auf Heizwert,
	2	(2) Gaskocher,
	2	(0) Thermometerflüssigkeiten auf Verwendbarkeit zwischen — 78 und 160°,
	10	(9) Stoffe auf Ausdehnung (0 bis 500°),
	6	(10) Proben verschiedener Art auf Wärmeleitung,
	5	(10) Posten Legierungsringe für Schwartzkopf-Dampfkessel-Sicherungsapparate,
	3	(0) Sorten Schweißstäbe auf Schmelzpunkt von Kern und Hülle.
zusammen	98	(115)

Die Prüfgebühren beliefen sich auf 127769,81 RM.

139. Nichtärztliche Thermometer[1]).

Die Zahl der geprüften nichtärztlichen Thermometer hat gegen das Vorjahr um etwa 33 % zugenommen. Besonderen Arbeitsaufwand verursachten 259 Beckmann-Thermometer, deren Zahl sich gegen 1926 fast verdoppelte, und die bei der Meteorexpedition benutzten, zur Nachprüfung eingesandten 150 Tiefseethermometer. Trotz der starken Belastung konnte ohne Personalvermehrung bis zum Schluß des Kalenderjahres eine Abfertigungsfrist von 4 bis 5 Wochen innegehalten werden. Da im Laufe des Dezembers allein für den Temperaturbereich 0° bis 100° mehr als 900 Thermometer eingereicht wurden (darunter eine große Zahl von Beckmann- und Kalorimeterthermometern), wird eine wesentliche Verlängerung der Abfertigungsfristen in den folgenden Monaten nicht vermieden werden können.

Von den 7232 (5442) nichtärztlichen Thermometern entsprachen 515 (397) nicht den Prüfungsbestimmungen, 18 (26) gingen beschädigt ein, 85 (64) — einschließlich 50 (41) Stück freiwillig gesprungener Instrumente — wurden bei der Prüfung beschädigt; im ganzen mußten 618 (487) Thermometer, d. h. etwa 8,5 % (9,0 %) aller eingereichten nichtärztlichen Thermometer, als unzulässig zurückgewiesen werden.

Eine Kontrolle der Arbeitsnormale wird laufend aufrecht erhalten.

Die Untersuchung der beiden, im vorjährigen Bericht erwähnten Glassorten (2954^{III} und Supremax) wurde beendet. Die Daten der Mutterskalen für diese Glassorten sind dem Antragsteller mitgeteilt und von diesem veröffentlicht. Im Berichtsjahr wurden zwei weitere Glassorten auf Antrag untersucht, von denen die eine den zu stellenden Anforderungen nicht entsprach, während die andere zur Verwendung bei hochgradigen Thermometern geeignet ist. Die Arbeiten zur Aufstellung der Mutterskale für diese Glassorte sind im Gange.

140. Fieberthermometer[2]).

Der Eingang von Fieberthermometern ist auch im verflossenen Jahre sehr lebhaft gewesen, so daß zu den zur Verfügung stehenden Kräften noch weitere 4 Hilfslaborantinnen einberufen und den weitaus größten Teil des Jahres beibehalten werden mußten. Größere, für Rußland bestimmte Aufträge waren die Veranlassung zu der Vermehrung des Personals. Nach Aufarbeitung dieser Aufträge mußte zum Jahresschluß 6 Laborantinnen gekündigt werden. Zur Zeit sind 12 Laborantinnen mit Prüfarbeit beschäftigt. Überdies wurden die systematischen Untersuchungen an Fieberthermometern, insbesondere über das Herunterschleudern des Quecksilberfadens, in enger Fühlungnahme mit dem Thüringischen Landesamt für Maß und Gewicht fortgesetzt. Ein Entwurf zur Änderung des Gesetzes über die Prüfung und Beglaubigung der Fieberthermometer vom 10. September 1924 ist bearbeitet und fertiggestellt worden.

[1]) Heuse. [2]) Ebert, Henning.

141. Thermometerprüfanstalten unter der techn. Aufsicht der Reichsanstalt[1]).

Übersicht über die vom 1. Januar bis 31. Dezember geprüften Fieberthermometer.

Geprüft wurden	P.T.R.	Thür. Landesamt für Maß und Gewicht	Anhalt. Staatsprüfamt	Summe
Einschlußthermometer	572505	4187076	983560	5743141
Stabthermometer	118053	1101912	1111	1221076
Insgesamt	690558	5288988	984671	6964217
Davon erhielten auf Antrag einen Stempel . . .	640967	4936721	951135	6528823
Davon erhielten auf Antrag keinen Stempel . .	737	93752	—	94489
Unzulässig in Prozent	7,2	4,9	3,3	4,9

Die Tätigkeit des Thüringischen Landesamtes für Maß und Gewicht und des Anhaltischen Staatsprüfamtes in bezug auf die Prüfung von Fieberthermometern ist aus vorstehender Tabelle zu ersehen, in welcher auch die entsprechenden Zahlen für die Reichsanstalt aufgeführt sind.

Beim Thüringischen Landesamt für Maß und Gewicht wurden an nichtärztlichen Thermometern eingereicht

	1977	(904) Laboratoriumsthermometer bis 100°,	davon 1827 (848)	zulässig,
	5186	(959) Laboratoriumsthermometer bis 550°,	davon 4506	zulässig,
	874	(349) meteorologische Thermometer,	davon 834	zulässig,
	558	(555) gewerbliche Thermometer,	davon 509	zulässig,
	216	(138) Thermometer für den häuslichen Gebrauch,	davon 203	zulässig.
zusammen	8811	(4696) Thermometer.		

Künstlich gealtert wurden 1101 (1791) und unter Druck gefüllt 5502 Thermometer.

Beim Hamburgischen Staatsprüfamt wurden zur Prüfung eingereicht

	35	(2) Laboratoriumsthermometer bis 100°,	davon 27	zulässig,
	253	(8) Laboratoriumsthermometer bis 500°,	davon 226	zulässig,
	4	(0) gewerbliche Thermometer	davon 2	zulässig,
	9	(100) Thermometer für den häuslichen Gebrauch,	davon 9	zulässig.
zusammen	301	(110)		

142. Molekularvolumen von Kohlenwasserstoffen[2]).

Um die Beziehung zwischen den Molekularvolumen einer Verbindung und ihrer Bestandteile zu prüfen, wurden die Volumina einiger organischer Verbindungen bei der Temperatur des normal siedenden Wasserstoffs bestimmt. Die Untersuchung umfaßte bisher Benzol, Toluol, Xylol, Äthylbenzol, Propylbenzol, Mesitylen, Naphthalin, Methan, Oktan, Aceton, Cyklohexan. Während bei den Stoffen der aromatischen Reihe und beim Aceton die beobachteten Volumina mit den aus den Teilhaberräumen berechneten befriedigend übereinstimmten (Tabelle), zeigten sich bei den Stoffen der aliphatischen Reihe Unterschiede, die die wahrscheinliche Fehlergrenze beträchtlich überschreiten und auf eine konstitutive Beeinflussung der Volumina zu deuten scheinen. Es sind deshalb zunächst weitere Glieder der aliphatischen Reihe in die Untersuchung hineinbezogen worden.

Bei den Versuchen wurden die Stoffe in einem mit einem Quecksilbermanometer verbundenen Glasgefäß bekannten Volumens zum Erstarren gebracht, der nicht mit der Versuchssubstanz gefüllte Teil des Glasgefäßes mit Helium gefüllt und dieser Teilraum volumenometrisch bestimmt. Als Differenz von Glasraum und Heliumraum ergab sich das Volumen des Versuchskörpers. Die Versuchssubstanzen wurden, soweit sie nicht in genügender Reinheit käuflich waren, im Institut für anorganische Chemie der Technischen Hochschule in Hannover (Vorstand Prof. W. Biltz) von Dr. W. Klemm und Dr. W. Fischer rein dargestellt.

---

[1]) Henning, Heuse, Ebert.

[2]) Heuse.

Das Ergebnis der bisher ausgeführten Messungen ist in der folgenden Tabelle zusammengestellt:

		Molekularvolumen berechn. aus d. Volumen d. Bestandteile nach Biltz	Molekularvolumen beobachtet bei 25° abs.	
Benzol	C_6H_6	67	69	aromatische Reihe
Toluol	C_7H_8	82	84	
Xylol	C_8H_{10}	97	98	
Äthylbenzol	C_8H_{10}	97	97	
Propylbenzol	C_9H_{12}	112	116	
Mesitylen	C_9H_{12}	112	111	
Naphthalin	$C_{10}H_8$	100	102	
Methan	CH_4	27	31	aliphatische Reihe
Oktan	C_8H_{18}	132	120	
Azeton	C_3H_6O	56	55	
Cyklohexan	C_6H_{12}	90 minus Inkrement für Ringschluß	82	

Für die Prüfungen von Instrumenten zur Messung geringer Druckdifferenzen ist von der Hauptwerkstatt der Reichsanstalt ein Mikromanometer nach Block mit 6 verschiedenen Meßbereichen gebaut. Dieses Instrument ist im Laboratorium fundamental untersucht. Die dazu gehörigen Korrektionstafeln sind aufgestellt. *143. Mikromanometer*[1]).

Ein Wasserminimeter der Askania-Werke, Berlin-Friedenau, ist eingehend untersucht und mit einem Neigemanometer nach Scheel-Heuse verglichen. Die Messungen erreichten eine Genauigkeit von ± 0,01 mm Wassersäule. *144. Wasserminimeter*[1]).

Für Messungen von Drucken bis etwa 40 kg/cm² ist eine kleine Manometerprobierpumpe von Schäffer & Budenberg, Magdeburg-Buckau, beschafft. Der wirksame Querschnitt ist bestimmt und eine Korrektionstabelle (mit 0,1 vT Genauigkeit) aufgestellt. *145. Druckwaagen*[2]).

Der Meßbereich der Druckwaagen der Reichsanstalt ist bis 20 00 kg/cm² erweitert, indem die eine Stückrathsche Druckwaage S_2 einen neuen dritten Einsatzzylinder erhielt mit einem Kolben von $^1/_4$ cm² Querschnitt. Durch Auswägen des Zylinders (Quecksilberfüllung) und Vergleichen der Waage mit einer anderen von bekanntem Querschnitt bei niedrigem Druck ist zunächst der neue wirksame Querschnitt ermittelt. Alsdann sind unter Berücksichtigung der Veränderung des Zylinders bei Einwirkung des Druckes die Korrektionen bis 2000 kg/cm² berechnet.

Zum Anschluß dieses neuen Kolbens an die früheren ist einmal die mit einem Kolben von $^1/_2$ cm² ausgerüstete Druckwaage $S_2 - {}^1/_2$ cm² mit der von Holborn konstruierten Druckwaage III und dann die mit einem Kolben von $^1/_4$ cm² ausgerüstete Druckwaage $S_2 - {}^1/_4$ cm² ebenfalls mit III verglichen. Die folgende Tabelle zeigt das Ergebnis:

Unterschiede in 0,0001 des Druckes.

P kg/cm²	III — ($S_2 - {}^1/_2$ cm²)	III — ($S_2 - {}^1/_4$ cm²)
200	0	— 3
400	0	— 3
600	0	— 1
800	0	0
1000		— 2

Daraus ist ersichtlich, daß der auf die angegebene Art ermittelte Querschnitt des Kolbens auf einige Zehntausendstel seines Wertes richtig ist. Es wird z. Zt. in der Reichsanstalt ein Differentialmanometer gebaut, mit dem wirksame Querschnitte ohne Extrapolation bis zu hohen Drucken bestimmt werden sollen. Hierdurch wird eine weitere Kontrolle des neuen Kolbens möglich sein.

---

[1]) Ebert, Sewig. [2]) Ebert.

146. Dampfdruckbestimmnngen üb. Schwefelsäure-Wassergemischen[1]). Zur Klärung der Frage nach einer einwandfreien Eichung der Haarhygrometer sollen die Dampfdrucke über verschiedenen geeigneten Substanzen untersucht werden, u. a. auch von den von Obermiller vorgeschlagenen Salzen. Zunächst ist die relative Luftfeuchtigkeit über Schwefelsäure-Wassergemischen bei 20° für zwei verschiedene Konzentrationen nach der Absorptionsmethode bestimmt. Sie beträgt bei einem Gemisch vom spez. Gewicht $1{,}19_0$ 80%, bei einem Gemisch vom spez. Gewicht $1{,}27_0$ 65%. Die Werte liegen um ein weniges unter den von Regnault gemessenen.

Die neuen Werte sind dem Verband Deutscher Elektrotechniker für die Arbeiten der „Unterkommission für die Aufstellung von Prüfmethoden hinsichtlich Luftfeuchtigkeit" zur Verfügung gestellt.

147. Grundlagen der Psychrometrie[1]). Mit der im vorjährigen Tätigkeitsbericht beschriebenen Apparatur sind die errechneten Feuchtigkeitstabellen bis 120° experimentell geprüft. Das Ergebnis ist veröffentlicht (s. Anh. 1, Nr. 132).

148. Ausdehnungsmessungen bei tiefen Temperaturen[1]). Die Ausdehnungsmessungen bis zur Temperatur des flüssigen Wasserstoffs sind mit der im vorjährigen Tätigkeitsbericht beschriebenen Apparatur fortgesetzt. Es ist noch Gold und Quecksilber letzteres in Form eines Einkristalls ⊥ zur Achse, untersucht. Bisher ist es noch nicht geglückt, eine andere Kristallisationsrichtung zu erhalten.

Ferner ist an einem Probestab der Ausdehnungskoeffizient eines Spezialstahls (Indilatans) zwischen 0 und — 78° zu $1{,}0 \cdot 10^{-6}$ bestimmt.

149. Bestimmung von Farbtemperaturen[2]). Auf der im Tätigkeitsbericht für 1926, Nr. 130, mitgeteilten Grundlage sind weitere Strahlungsquellen, besonders einige Bandlampen für Prüfzwecke, auf ihre Farbtemperatur untersucht worden. Ein bemerkenswertes Verhalten zeigte ein Nernststift: Bei einer Belastungsstromstärke von 1 Amp. ergab die schwarze Temperatur als Funktion der Wellenlänge eine sehr schwach gekrümmte Linie, die bei 560 mμ durch ein Maximum von 2030° C ging. An dieser Stelle ist also die Farbtemperatur gleich der schwarzen Temperatur, d. h. der Nernststift kann in diesem Wellenlängengebiet für alle Messungen, bei denen die Farbtemperatur eine Rolle spielt, als vollwertiger Ersatz des schwarzen Körpers dienen. Im übrigen fand sich im ganzen sichtbaren Gebiete keine der sonst beobachteten Unregelmäßigkeiten in der Emission.

150. Platinschmelzpunkt[2]). Bei der Bestimmung des Platinschmelzpunktes im Iridiumofen sprechen zwar gewichtige Gründe dafür, daß trotz einer oberflächlichen Verunreinigung durch Iridiumdämpfe nach der befolgten Methode der Messung der Wärmetönung an verhältnismäßig starken Drähten die Temperatur des reinen Platins erhalten wird. Es bleibt indessen wünschenswert, den Platinschmelzpunkt in einem Ofen zu wiederholen, bei dem der Einwand einer Verunreinigung nicht erhoben werden kann. Versuche mit einem Wolframofen führten nicht zum Ziel: Es zeigte sich, daß auch hier das Platin merklich verunreinigt wird, so daß es sich nicht lohnt, auf diesem Wege fortzuschreiten. Mehr Aussicht auf Erfolg verspricht die Benutzung eines Ofens mit einem Heizrohr aus Nernstmasse. Versuche in dieser Richtung sind im Gange. Endlich sind Beobachtungen begonnen worden, die dahin zielen, die schwarze Strahlung beim Platinschmelzpunkt dadurch leichter reproduzierbar zu machen, daß nach dem Glühfadenprinzip die relative Helligkeit des vor dem schwarzen Strahler schmelzenden blanken Platins zu der des schwarzen Strahlers selbst bestimmt wird.

Abteilung IV.

Unterabteilung IVa.

151. Verschärfte Interferenzen[3]). Es wurde ein neues Prinzip zur Verschärfung von Interferenzen und damit zur Steigerung von Auflösungsvermögen, Dispersionsgebiet und Helligkeit gefunden. Dieses besteht darin, die Zahl der verwandten, parallelen Ebenen, an denen das Licht reflektiert wird, zu erhöhen. Eine erste Mitteilung hierüber ist veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 156).

152. Einseitig versilberte Lummer-Gehrcke-Platten[4]) Versilbert man eine Seite einer Lummer-Gehrcke-Platte, so ist die Platte zwar nur einseitig zu benutzen, dafür ist aber die Intensitätsabnahme der zur Interferenz gelangenden Teil-

[1]) Ebert. [2]) Hoffmann.
[3]) Gehrcke, Lau.
[4]) Janicki, Lau.

strahlen wesentlich kleiner geworden. Das Auflösungsvermögen wird bei einer genügend langen Platte nahezu das Doppelte, und die Lichtstärke etwa das Dreifache wie ohne Versilberung. Das austretende Licht ist außerdem senkrecht und parallel zur Einfallsebene polarisiert, die Interferenzstreifen der beiden Polarisationsrichtungen liegen nebeneinander.

153. Feinstruktur[1]). Mit der einseitig versilberten, 1 cm dicken und 30 cm langen Platte der Reichsanstalt gelang es, 7 Komponenten bei der dunkelgrünen Quecksilberlinie λ 4916 festzustellen, während die unversilberte Platte nur schwache Andeutungen einer Struktur gab. Auch einige Kryptonlinien, insbesondere die starke Linie λ 5570, die früher mit der unversilberten 1-cm-Platte eine Struktur erst zu erkennen gab, als die alten Aufnahmen mit dem neuen Registrierapparat von Zeiss (s. Nr. 166) registriert werden konnten, zeigen mit dieser selben Platte deutlich getrennte Komponenten.

154. Kombination zweier versilberter Lummer-Gehrcke-Platten[2]). Als gebräuchlichste Kombination zweier Lummer-Gehrcke-Platten ist die Kreuzung zu betrachten. Für photometrische Messungen ist aber die Parallelstellung zweckmäßiger. Hier treten keine photographischen Fehler auf, und mit der durch die zweite Platte bewirkten Vergrößerung ist zugleich eine Reinigung von falscher Intensität verbunden (Anh. 1, Nr. 157).

155. H_a in schwachen elektrischen Feldern[2]). Mit Hilfe einer derartigen Kombination zweier versilberter Lummer-Gehrcke-Platten gelang es, 6 Komponenten bei H_α nachzuweisen. Diese zeigen sich, wie jetzt gefunden wurde, z. T. bereits in den geringen Feldern der positiven Säule polarisiert. Bei Druckänderung und insbesondere beim Auftreten von Schichten in der positiven Säule sind außer Änderungen der Intensität auch solche der Lage der Komponenten vorhanden. (Veröffentlichung ist in Vorbereitung.)

156. Sekundäre Wellennormalen im Ultraviolett[3]). Der Apparat zur Wellenlängenmessung nach der Methode von Kösters ist in der Werkstatt der Reichsanstalt im Bau.

157. Versilberung durch Kathodenzerstäubung[3]). Es wurden Versuche zur Herstellung hochreflektierender, halbdurchlässiger Silberschichten auf Glas und Quarz in Wasserstoff unternommen. Bei Verwendung von spektralreinem Wasserstoff (klare Ausbildung des blauen Saumes an den Schichten der positiven Säule) gelingt es, in strömendem Gas Spiegel mit dem hohen Reflexionskoeffizienten von 0,93 herzustellen. Die zu versilbernden Flächen müssen vor der Bestäubung mit einer sehr dünnen Schicht z. B. von Vaseline oder Seife überzogen werden. Dieser Kunstgriff bewirkt nicht nur ein festes Haften des Silbers an der Glas- bzw. Quarzfläche, sondern verhindert auch das Aufrauhen des Spiegels. Um den am Rande der versilberten Platten leicht auftretenden braunen Niederschlag zu vermeiden, empfiehlt es sich, die Ebene der zu versilbernden Fläche zu vergrößern, indem man rings um die Fläche des Spiegels, in gleicher Höhe mit ihm, eine Metallfläche anbringt.

158. Bestimmung der Konstanten σ[4]). Die Untersuchung des Berichtsjahres erstreckte sich auf möglichst vollkommene Ausschaltung aller Absorptionen im Strahlengang. Es zeigte sich, daß durch lediglich Trocknung oder durch Übertragung der Absorptionswerte, die an kürzeren Absorptionsstrecken ermittelt waren, keine der übrigen Genauigkeit entsprechenden präzisen Strahlungswerte zu gewinnen waren. Ob dies z. T. auf andere zufällige absorbierende Bestandteile in der Zimmerluft — etwa durch Lüftungskanäle vom chemischen Laboratorium herrührend — zurückzuführen ist, bleibt offen. Exakte Werte wurden erst erhalten, als nicht nur der eingebaute Strahlengang zwischen Meßdiaphragma und Empfänger mit hochprozentigem Stickstoff gefüllt wurde, der nochmals durch Kühlung in flüssigem Stickstoff gereinigt war, sondern als auch der Raum zwischen Meßdiaphragma, Klappe, Strahler einschließlich des Strahlerinnern mit einem strömenden Schleier reinen Stickstoffs unter Ausschaltung dynamischer Strömungseffekte gespült wurde. Die damit erhaltenen Werte liegen höher als der theoretisch kürzlich von R. Ladenburg im Handbuch der Physik Geiger-Scheel, Bd. XXIII, S. 305 mit Hilfe anderer Konstanten zu $5{,}71_5$ berechnete σ-Wert. Um soweit als möglich auch bezüglich der Schwärze und Homogenität des Strahlers Sicherheit gegen systematische Fehler zu gewinnen, sollen noch Kontrollversuche ausgeführt werden, bei denen u. a. der Einfluß derartiger Fehlerquellen durch absichtlich verstärkte Strahlerungleichmäßigkeiten usw. ermittelt wird.

---

[1]) Gehrcke, Janicki, Lau. [2]) Lau.
[3]) Janicki, Lau. [4]) C. Müller.

159. Definition einer Lichteinheit mit Hilfe absoluter Messung der Gesamtstrahlung[1]. Es wurde untersucht, mit welchen Aussichten sich eine rationelle Lichteinheit auf die absolute Messung der Gesamtstrahlung dadurch gründen läßt, daß man als Normale die Flächenhelle des absolut schwarzen Körpers bei derjenigen Temperatur definiert, bei welcher der absolut schwarze Körper pro Flächeneinheit einseitig ein bestimmtes (abgerundetes) Wattquantum ausstrahlt. Die Realisierung einer derartigen Lichteinheit erfordert zur Temperatureinstellung nur eine Anordnung zur absoluten Messung der Gesamtstrahlung ähnlich den σ-Bestimmungen. Ein zulässiger Fehler von 1% für die Lichteinheit würde eine Meßgenauigkeit für die Gesamtstrahlung von etwa 4‰ bedingen. Gegenüber der σ-Bestimmung besteht jedoch hier die Erleichterung, daß Fehler aus Temperaturanschlüssen wegfallen, Fehlerquellen aus mangelnder Strahlerschwärze nur zum Teil sich geltend machen, ferner große Strahlungsintensitäten und große Empfängerdimensionen verfügbar sind, andererseits gegenüber der Warburgschen Methode die Temperaturanforderungen an den Strahler geringer bleiben. Die Veröffentlichung der Untersuchung, die als Exposé zusammen mit einem Bericht über die Warburgsche Lichteinheit auf dem Kongreß in Bellagio durch Regierungsrat Dziobek überreicht wurde, ist vorbereitet.

160. Warburgsche Lichteinheit[2]. Für die Realisierung der Warburgschen Lichteinheit hat die Notgemeinschaft in dankenswerter Weise namhafte Unterstützungen bereitgestellt. Die experimentellen Arbeiten betrafen in erster Linie die spektralphotometrischen Vergleichungen, bei denen lichtelektrische Ströme von weniger als 10^{-10} Amp. mit 1‰ Genauigkeit registrierend aufzuzeichnen sind. Ähnliche Probleme bestehen in der Astrophysik bei der Verfolgung geringfügiger Helligkeitsänderungen lichtschwacher Sterne, ferner bei zahlreichen spektralen Untersuchungen. Eine Verstärkung derartiger schwacher Ströme mittels Verstärkerapparaturen erschien nach den Erfahrungen von Rosenberg, Hausser, Jaeger, Vahle im Hinblick auf die Eigenstörungen solcher Apparaturen nicht ratsam, um so mehr als nach Jaeger und Kußmann eine Genauigkeitssteigerung hiermit gegenüber elektrometrischen Methoden nicht erzielt wird. Es wurde deswegen das früher entwickelte Registrierprinzip der Interpolationsmarken mit einer elektrometrischen Auflademethode als empfindlichstem Indikator in folgender Weise kombiniert (vgl. Abb. 4). Das zu messende spektrale Licht gelangt in eine lichtelektrische Zelle *1*, welche ein Projektions-Einfadenelektrometer *2* auflädt. Die Bewegung des Fadens wird auf einer Registriertrommel *3* photographisch aufgezeichnet, wobei jedoch die Anordnung so getroffen ist, daß die Unruhescheibe *4* eines Uhrwerks *5* im Strahlengang steht und nur einmal bei jeder Halbschwingung, beim Durchgang durch die Ruhelage, einen kurzen Lichtblitz auf die Registriertrommel *3* gelangen läßt. Bei jeder derartigen Momentaufnahme entsteht eine Schwärzungslinie mit Schattenpunkt entsprechend der Stellung des Elektrometerfadens. Durch dasselbe Uhrwerk wird der Elektrometerfaden periodisch nach einer bestimmten Zahl von Halbschwingungen geerdet.

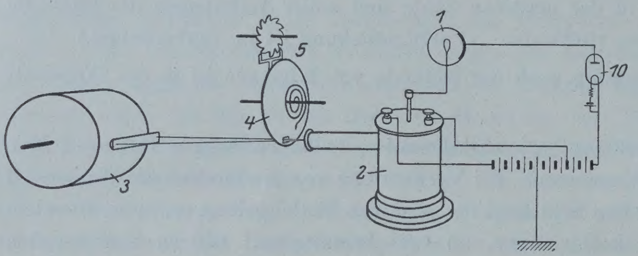


Abb. 4.

Man erhält so ähnlich der schematischen Zeichnung (Abb. 5) periodisch wiederkehrende Gruppen von ansteigenden Registriermarken. Schleichende Empfindlichkeitsänderungen, Dunkelstromeffekte usw. lassen sich gemäß dem früher entwickelten Verfahren durch periodisches Einschalten von Registriermarken einer konstanten Vergleichsglühlampe eliminieren (in Abb. 5, Gruppen u_1, u_2, u_3), bzw. durch ein einstellbares Poloniumpräparat kompensieren. Als Zellenschutz gegen Überspannungen, die durch Schneidenberührung des Elektrometerfadens ausgelöst werden können, erwies sich die Vorschaltung einer schwach geheizten Verstärkerröhre *10* (Abb. 4) zweckmäßiger als ein hochohmiger Widerstand. Die bisherigen verschiedenen spektralen Vorversuche lassen ausreichende Genauigkeit für die Warburgsche Lichteinheit — genügende Ofenträgheit vorausgesetzt — erwarten, ferner die Möglich-

[1]) C. Müller.

[2]) C. Müller, R. Frisch.

keit erhoffen, bei der Registrierung spektraler Durchlässigkeiten hiermit lichtelektrisch bis zu etwa 220 mμ herab unter Benutzung des kontinuierlichen Wasserstoffspektrums vorzudringen.

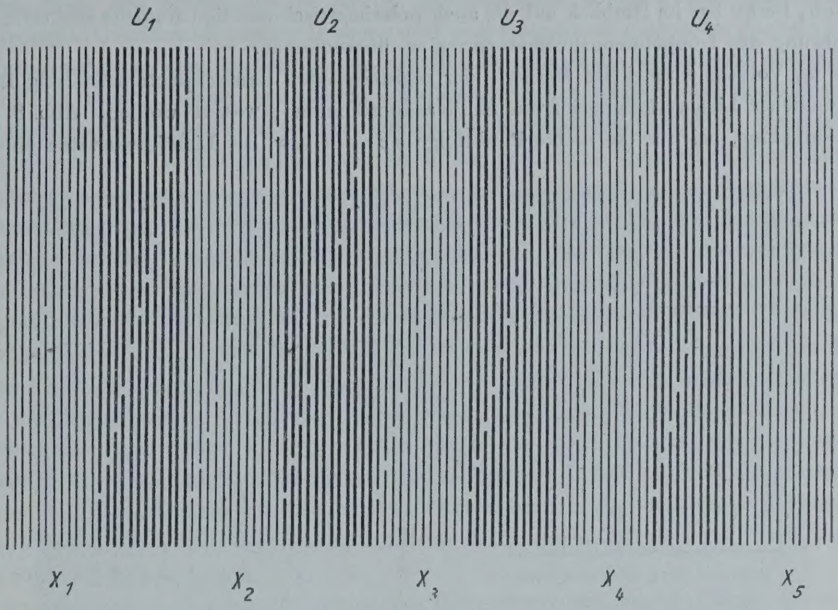


Abb. 5.

Bei der Verwendung von Bogenlicht stehen der spektralen Durchmusterung vielfach die Cyanbanden entgegen. Versuche ergaben, daß sich die Cyanbanden außer durch Wasserstoffspülung auch durch Wasserdampfentwicklung, ferner entsprechend einer Anregung von Herrn Direktor Gehrcke auch durch Spülung mit reinem Sauerstoff ausschalten lassen. *161. Registrieren-des Spektralphotometer, Doppelmonochromator*[1]).

Der im Tätigkeitsbericht 1925 beschriebene Doppelmonochromator, bei dem zwei Spektralapparate spiegelbildlich zueinander mit sich deckenden Spektren liegen und ein längs dieses gemeinsamen Spektrums verschobener spiegelnder Spalt Spektralausgrenzung und Lichtumleitung besorgt, setzt gestreckte Spektren voraus.

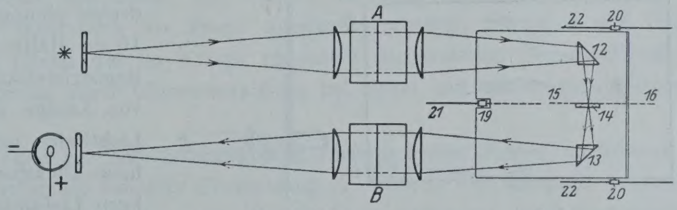


Abb. 6.

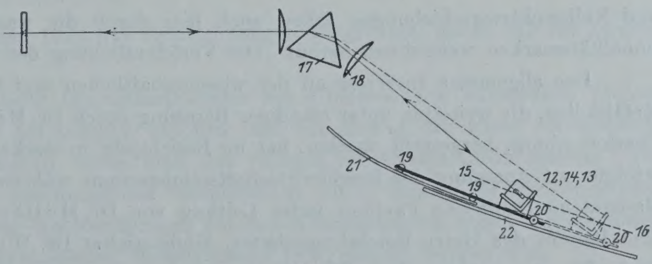


Abb. 7.

Für Präzisionsarbeiten mit gekrümmten Spektren ist die damals ebenfalls entwickelte Anordnung gemäß Abb. 6 und 7 vorteilhafter, bei der zwei Spektrographen *A* und *B* gleichartig nebeneinanderliegen und die Umlenkung und Ausgrenzung durch zwei Spiegelungen (Prismen *12, 13*) mit Zwischenspalt *14* erfolgt. Derartige Anordnungen ergeben doppelte Reinigung, aber nur einfache Zerlegung, lassen sich jedoch bei Ersetzen des einen Prismas *(12)* durch ein Dachkantprisma oder eine äquivalente, seitenvertauschende Anordnung auch auf verdoppelte Zerlegung umschalten und gestatten das ausgrenzende Umlenkungssystem *(12, 14, 13)* genau der Spektrenkrümmung *15* bis *16* nachzuführen. Die neben der Verschiebung erforderliche Neigung des Spiegelsystems (*12, 14, 13*) läßt sich, wie Abb. 7 zeigt,

[1]) C. Müller.

außer durch mechanische Anlenkung an Prisma *17* und Fernrohrlinse *18* auch durch einfache Schlittenrollenführung *19, 20* auf gegeneinander geneigten Bahnen *21, 22* erzielen. Die Firma Franz Schmidt & Haensch, Berlin hat im Hinblick auf die auch polarimetrisch wichtige doppelte spektrale Reinigung die Ausführung des Doppelmonochromatorprinzips übernommen.

162. Registrierende Lampenphotometrierung[1]). Die im Vorjahr entwickelte Methode der registrierenden Lampenphotometrierung ist zur Aufnahme räumlicher Lichtverteilungskurven in Polarkoordinaten erweitert worden. Abb. 8 zeigt eine derartige Aufnahme, bei der die dichte Punktfolge *a c e g i l* usw. die Lichtintensitäten einer Doppel-

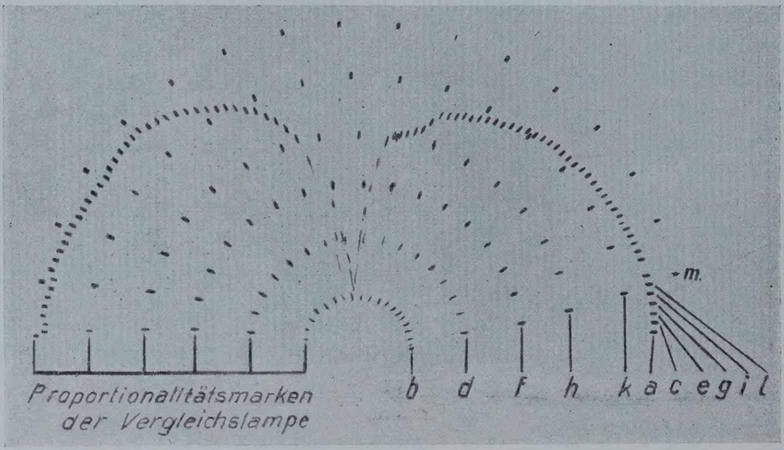


Abb. 8.

faden-Glühlampe unter verschiedenen Ausstrahlungswinkeln wiedergibt und die radialen Punktfolgen *b d f h k m* abgestuften bekannten Vergleichsintensitäten einer feststehenden Vergleichslampe entsprechen. Die Marken sind entsprechend der alphabetischen Reihenfolge im Wechsel mit den Intensitätswerten der auszuwertenden Lampe als Schattenpunkte eines angeschlossenen lichtelektrischen Registrierelektrometers aufgenommen, indem eine mit der zu untersuchenden Lampe gleichartig gedrehte photographische Platte *p* gemäß Abb. 9 u. 10 zur Hälfte hinter dem Belichtungsspalt *s* eines Registrierelektrometers gelagert war. Bei Drehung von Lampe und Platte entstehen dann radiale Lichtlinien mit Schattenpunkten, die der jeweiligen Elektrometerfadenstellung, d. h. den jeweiligen Lichtintensitäten von Prüflampe bzw. Vergleichsintensität entsprechen. Empfindlichkeits- und Nullpunktsverschiebungen fallen auch hier durch die wechselweise Einschaltung von Proportionalitätsmarken weitgehend heraus. Die Veröffentlichung der Methode ist in Vorbereitung.

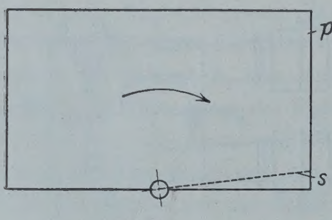


Abb. 9.

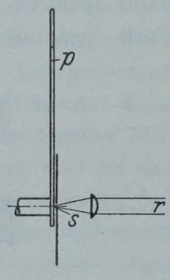


Abb. 10.

163. Dünne Metallfolien[1]). Das allgemeine Interesse an der wissenschaftlichen und technischen Auswertung der dünnen Metallfolien, die weiterhin unter ständiger Beratung durch Dr. Müller vom Laboratorium Dr. K. Mey, Charlottenburg, hergestellt werden, hat im Berichtjahr in starkem Maße zugenommen. Im April 1927 erfolgte auf Anregung des Reichswirtschaftsministeriums während der internationalen Ausstellung zu Mailand im Deutschen Pavillon unter Leitung von Dr. Müller eine größere Folienausstellung, die dem Bericht des Herrn Reichskommissars, Ministerialrat Dr. Willecke zufolge besonderes Interesse fand. Ein ausgewählter Teil dieser Folien ist dem Deutschen Museum in München auf wiederholten Wunsch für die Abteilung Chemie überlassen worden. Eine weitere stark beachtete Folienausstellung durch das Laboratorium Dr. K. Mey und die Reichsanstalt erfolgte im Oktober/November 1927 auf der Berliner Werkstoffschau auf besonderen Wunsch der Abteilungsleitung für Metalle. Neben einer allge-

[1]) C. Müller.

meinen Folienübersicht wurden hier mit Unterstützung des polarimetrischen Laboratoriums (Schönrock, Einsporn) und der Firma Franz Schmidt & Haensch, Berlin, von Dr. Müller an durchsichtigen magnetischen Eisen- und Nickelfolien die für die Bildtelegraphie erwägenswerte, magnetische Lichtsteuerung gezeigt in Gestalt magnetischer Drehung der Polarisationsebene mittels des Faraday-Kundt-Effekts. Ferner wurde an einer großen, 1 μ starken Nickelmembran die weitgehende elastische Durchbiegungsfähigkeit (15 mm Hub bei 0,04 mm Hg Luftüberdruck) demonstriert. Die neuerdings auch bei kleineren stärkeren Membranen erzielten gesteigerten Empfindlichkeiten (bei 2 mm Wassersäule-Überdruck beispielsweise ca. 0,5 mm Durchbiegung an 40 mm großen, ca. 2 μ starken Membranen) haben in medizinischen Kreisen mannigfache Versuche, u. a. zur Blutdruck-, Atem-, Augendruckforschung (Starforschung) angeregt. Auch für wichtige bergwerkstechnische Probleme scheinen die hochempfindlichen Metallmembranen lang gesuchte Lösungen zu bringen. Mannigartige Folienanfertigungen erfolgten zu Filterzwecken für radioaktive Untersuchungen (Atomzertrümmerungen), für Röntgenstrahlen- und Kathodenstrahlenforschungen (Lenardfenster), als Membranen und Thermophonfolien für akustische Geräte und Untersuchungen, zu Bimetallgeräten, Hochspannungs- und Transformatorschutzapparaturen und für chemische Forschungen. — Vielfache neue Anwendungsmöglichkeiten dürfte die kürzlich gelungene Ausbildung dünner planer spiegelnder Membranen bringen, da zufolge von Untersuchungen des polarimetrischen Laboratoriums die neuen Spiegelmembranen an Ebenheit (bis auf wenige Hunderttausendstel Millimeter) und an präziser Ausbildung von Fizeauschen Interferenzstreifen in einer dünnen Luftschicht den bestgeschliffenen Glasspiegeln gleichkommen. Vergleichende Versuche bezüglich der Folienherstellung durch Steinsalzbestäubung nach Lauch und Ruppert sind in Vorbereitung.

164. Vakuum-Thermoelemente von gesteigerter Strahlungsempfindlichkeit[1].

Es ist gelungen, nach neuen Prinzipien aus Feindrähten von ca. 5 μ Stärke, die an der Verbindungsstelle eine geschwärzte Auffangfläche von ca. 0,04 mm Breite und ca. 0,8 mm Länge besaßen, mit privater Unterstützung Vakuumthermoelemente von gesteigerter Empfindlichkeit und geringer Trägheit herzustellen. Bei einer mit Herrn Dr. Frisch mittels der Hefnerlampe durchgeführten Eichung ergaben die ersten Exemplare bei 2 bis $2^1/_2$ Sekunden Einstellzeit Strahlungsempfindlichkeiten bis 3,5 Mikrovolt pro 10^{-8} cal/sec gegenüber dem von Moll und Burger in ihren Vakuumthermoelementen erreichten Wert von 1 Mikrovolt. Die Arbeiten werden mit dankenswerter Unterstützung der Notgemeinschaft der Deutschen Wissenschaft fortgesetzt.

165. Flugzeugpeilung durch Ultrarotstrahlung[1].

Für die Weiterentwicklung der Luftfahrt ist die Sicherung der Orientierung und die Landungspeilung bei Nebel von entscheidender Bedeutung. Auf Wunsch der Versuchsanstalt für Luftfahrt ist in einem Gutachten zunächst theoretisch die Frage untersucht worden, inwieweit und mit welchen Mitteln, insbesondere auf Grund der im Kriege vereinzelt angewandten Ultrarot-Signalisierung Flugzeug- und Landungspeilung durch Ultrarotstrahlung bei Nebel und unsichtigem Wetter möglich erscheint.

166. Registrierende Photometrie von Schwärzungskurven[1].

Um Registrierphotometrierungen von Schwärzungskurven verfeinert durchführen zu können, ist ein Zeisssches Registrierphotometer mit variabler Übersetzung (1 : 1 bis 1 : 100) beschafft worden, dessen hohes Auflösungsvermögen sich insbesondere auch für die Untersuchungen der Reichsanstalt als wertvoll erwiesen hat.

Insgesamt wurden im Berichtjahr 1927 312 Registrierungen ausgeführt, davon 142 für Zwecke der Reichsanstalt.

167. Soleilscher Kompensator[2].

Sowohl beim Kalkspat- wie beim Quarzkompensator zur Untersuchung elliptischen Lichtes läßt sich die Einstellungsgenauigkeit beträchtlich erhöhen und der Betrag der sonst vorhandenen regelmäßigen Fehler erheblich verringern, wenn man das vielfach reflektierte Licht entfernt, was am besten durch angekittete dünne spannungsfreie Glasplättchen von 1° Keilwinkel erreicht werden kann. Die eingehenden vergleichenden Untersuchungen mit den Kompensatoren sollen vorgenommen werden, sobald ihre entsprechend abgeänderten Metallgehäuse fertiggestellt worden sind.

168. Polarimetrische Prüfungen[3].

Während des Jahres 1927 wurden 33 (9) Saccharimeter-Quarzplatten zur Prüfung eingesandt. Hiervon waren 3 Quarzplatten wegen zu großen Keilwinkels und 1 wegen nicht genügender optischer Reinheit für saccharimetrische Zwecke nicht geeignet. Außerdem wurden noch 5 Polari-

[1]) C. Müller. [2]) Schönrock.
[3]) Schönrock, Einsporn.

sationsapparate, darunter einer zur Bestimmung der elektromagnetischen Drehung, auf ihre Güte untersucht.

169. Prüfungen auf Planparallelismus[1]. Die Prüfungen auf Planparallelismus und optische Homogenität sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Anzahl	Gegenstand	Art der Prüfung
14 (17)	Galvanometerspiegel	Ebenheit
11 (10)	große Glasplatten mit Durchmessern bis zu 180 mm, darunter 3 Lummer-Gehrcke-Platten	Planparallelismus
1 (0)	schwarzes Probeglas von 28 mm Dicke und 310 mm Durchmesser	Ebenheit
4 (3)	Glasprismen	Ebenheit der Flächen
1 (2)	große Platte aus kristallinischem Quarz	Planparallelismus, optische Reinheit und Achsenfehler
1 (1)	Würfel aus Quarzglas	Spannung und Schlieren
2 (0)	große Spiegel, und zwar 1 Nickelspiegel und 1 versilberter Glasspiegel	Ebenheit
2 (0)	Drahtglastafeln	Spannung
1 (0)	Glasplatte mit Spiegelschicht	auf polarisiertes Licht
2 (2)	Kondensatorkreisplatten von 293 mm Durchmesser	Ebenheit der Flächen und Durchbiegung
3 (0)	Müllersche dünne Spiegel-Metallfolien	Ebenheit
20 (0)	Stahlkugeln von 4,75 mm Durchmesser	Abweichung der mittleren Durchmesser untereinander u. Rundheit der einzelnen Kugeln

Zur Erleichterung der Prüfung großer dicker Platten auf Parallelismus mittels der Haidingerschen Interferenzringe im reflektierten Lichte ist ein neuer Interferenzapparat gebaut worden, bei dem auch die Durchmesser der Ringe in einfacher Weise hinreichend genau ausgemessen werden können.

170. Spiegel aus Kruppstahl[2]. Der im Juni 1925 gelieferte Spiegel aus dem nicht rostenden Kruppstahl $V_2 A$ (von 70 mm Durchmesser und 9 mm Dicke), dessen spiegelnde Oberfläche Januar 1927 ziemlich regelmäßig konkav mit einem Krümmungsradius von $r = 1{,}3$ km war, hat sich inzwischen wiederum verändert und ist jetzt im Januar 1928 unregelmäßig konkav mit $r = 2{,}4$ km geworden. In dankeswerter Weise hat die Firma Halle Nachf., Berlin-Steglitz, noch drei gleiche Spiegel aus Kruppstahl $V_2 M$ behufs zeitlicher Prüfung auf Ebenheit zur Verfügung gestellt. Der im April 1927 gelieferte, gut ebene Spiegel *a* hat bisher seine Ebenheit ungeändert beibehalten. Dagegen ist der im September 1927 eingesandte, mit $r = 2{,}8$ km konkave Spiegel *b* in der Zwischenzeit merklich ebener geworden, und zwar unregelmäßig konkav mit $r = 8$ km. Der dritte Spiegel *c* konnte erst kürzlich zur Ablieferung gelangen und ist gut eben poliert. — Schon diese bisherigen Versuche erweisen, daß es, wenn an die Ebenheit von Kruppstahl-Spiegeln sehr hohe Anforderungen gestellt werden müssen, dann unerläßlich ist, ihre Ebenheit von Zeit zu Zeit nachzuprüfen.

171. Polarimetrische Untersuchungen[1]. Die vergleichenden polarimetrischen Untersuchungen mit homogenen Spektrallinien einerseits und mit weißem Licht nebst Monochromator und Farbgläsern andererseits sind fortgesetzt worden, wobei auch die Frage beantwortet werden soll, ob sich der Ersatz der gewöhnlich benutzten, großen

---

[1]) Schönrock, Einsporn.

[2]) Schönrock.

und teuren Glan-Thompsonschen Nicols durch die sehr kleinen und billigen Doveschen gleichschenklig-rechtwinkligen Kalkspatprismen auch zeitlich bewähren wird, weil bei den letzteren die Hypotenusenfläche, an der das Licht total reflektiert wird, mit der Zeit ein wenig anläuft, d. h. ihre Hochglanzpolitur nicht voll behält.

172. Untersuchung von Stahlkugeln[1]).

Die systematische vergleichende Untersuchung von Stahlkugeln (von 3 bis 13 mm Durchmesser) auf ihre Güte, d. h. auf Übereinstimmung der Durchmesser der verschiedenen Kugeln jeder Sorte sowie auf Rundheit der einzelnen Kugeln, ist in Angriff genommen worden. Sie erfolgt mit dem Schönrockschen großen Interferenzapparat mittels der Haidingerschen Interferenzringe unter Zuhilfenahme zweier sehr gut ebener Quarzplatten. Zur Prüfung werden etwa eintausend Kugeln von deutschen, schwedischen, englischen, französischen und amerikanischen Erzeugern gelangen. Es sollen nämlich immer 20 Kugeln pro Sorte und Firma ausgemessen werden. An Stelle von Hand erfolgt jetzt die für die Messung notwendige Lagenänderung jeder Kugel in sich mittels eines in der Hauptwerkstatt hergestellten kleinen Apparats besonderer Konstruktion, wodurch die Untersuchung wesentlich an Zeit gekürzt und zugleich die Sicherheit der Messungen sehr erhöht wird.

173. Wellenlängen-Normal[1]).

Mit von der Firma Heraeus in Hanau hergestellten Kadmiumdampf-Bogenlampen (aus Quarzglas) mit geringem Gallium-Zusatz (nach Bates) wurden eingehende Versuche angestellt über die Brauchbarkeit dieser bequem zu handhabenden Lampe zur Erzeugung der roten Cd-Linie 0,6439 μ als Wellenlängen-Normals. Dabei wurden auch die aus der Theorie sich ergebenden, durch Schwankungen der Luftzusammensetzung verursachten Änderungen des Normals berücksichtigt. Es wird sich als notwendig herausstellen, bei seiner Definition auf das Vakuum zurückzugreifen, was ohne besondere Schwierigkeit möglich ist. Die Veröffentlichung dieser Ergebnisse steht vor dem Abschluß.

174. Achsenfehlerapparat[2]).

Der in der Reichsanstalt hergestellte Apparat zur Bestimmung der Lage der optischen Achse in größeren dicken Quarzplatten sowie Quarzprismen hat sich bei den laufenden Prüfungen bewährt und soll demnächst veröffentlicht werden.

175. Lichtbrechung von Quarz[2]).

Wie für Flußspat erweist es sich auch für Quarz am vorteilhaftesten, den Wellenlängenbereich in den sichtbaren und ultraroten Teil zu zerlegen und für jeden dieser Teilbereiche die fünf Konstanten A bis E der Kettelerschen Gleichung

$$n^2 = A + \frac{B}{\lambda^2 - C} - \frac{D}{E - \lambda^2}$$

getrennt nach der Methode der kleinsten Quadrate zu berechnen. Hierin beziehen sich sowohl die Wellenlängen λ in μ, wie auch die Brechungsexponenten n bei 20° des ordentlichen Strahles für Quarz auf Luft von 20° und 760 mm Druck (bei 9 mm absoluter Feuchtigkeit). Genauer gesagt gelten die Werte n für das tadellose, bei den früheren Strahlungsmessungen in der Reichsanstalt benutzte 62°-Quarzprisma 1913a, und zwar sind sie die Mittel aus den Brechungsverhältnissen der ordentlichen und der außerordentlichen Welle, die sich in Richtung der optischen Achse des Quarzes fortpflanzen. Die Ausgleichung der Beobachtungsfehler lieferte die folgenden Werte:

Werte I für $\lambda = 0{,}4$ bis $0{,}71\ \mu$

$A = 3{,}4918838 \qquad B = 0{,}01067085 \qquad C = 0{,}0106291$

$D = 114{,}37807 \qquad E = 100{,}77;$

Werte II für $\lambda = 0{,}71\ldots$ bis $2{,}4\ \mu$

$A = 3{,}5968913 \qquad B = 0{,}01064379 \qquad C = 0{,}0106291$

$D = 138{,}20519 \qquad E = 111{,}45202.$

Die hiermit berechneten Werte n sind in der folgenden Tabelle mit den beobachteten zusammengestellt.

---

1) Schönrock, Einsporn.

2) Schönrock.

Linie			λ in μ	n_{20° beobachtet	n berechnet	$(n_{\text{ber.}} - n_{\text{beob.}})\ 10^7$
Hg	violett	4047	0,404658	1,5571391	1,5571401	+ 10
Hg	violett	4078	0,407785	1,5567667	1,5567658	− 9
Hg	blau	4358	0,435836	1,5537717	1,5537712	− 5
He	blau	4713	0,471317	1,5507371	1,5507373	+ 2
He	grün	5016	0,501570	1,5486404	1,5486413	+ 9
Hg	grün	5461	0,546077	1,5461509	1,5461502	− 7
Hg	gelb	5780	0,578016	1,5446858	1,5446864	+ 6
Na	gelb	5893	0,589298	1,5442213	1,5442202	− 11
Cd	rot	6439	0,643850	1,5422621	1,5422623	+ 2
He	rot	6678	0,667818	1,5415273	1,5415279	+ 6
He	rot	7065	0,706523	1,5404660	1,5404657	− 3
3/2 Na	gelb	5893	0,883947	1,5368450	1,5368486	+ 36
2 Hg	grün	5461	1,092154	1,5337675	1,5337661	− 14
2 Hg	gelb	5780	1,156031	1,5329183	1,5329148	− 35
2 He	rot	6678	1,335637	1,5305739	1,5305817	+ 78
3 Hg	grün	5461	1,638231	1,5265056	1,5265102	+ 46
3 Hg	gelb	5780	1,734047	1,5251305	1,5251291	− 14
3 Na	gelb	5893	1,767893	1,5246382	1,5246274	−108
3 Cd	rot	6439	1,931551	1,5220804	1,5220912	+108
4 Hg	grün	5461	2,184308	1,5177713	1,5177699	− 14
4 Hg	gelb	5780	2,312063	1,5153808	1,5153780	− 28

In der letzten Kolumne dieser Tabelle sind die übrigbleibenden Fehler gegen die Beobachtungen selbst $\Delta = n_{\text{ber.}} - n_{\text{beob.}}$ enthalten. Diese Verbesserungen Δ lassen, auf die bekannten Kriterien geprüft, einen Gang nicht mehr erkennen und darauf schließen, daß die Sicherheit im sichtbaren Spektrum 1 Einheit, im Ultrarot etwa 5 Einheiten der 6. Dezimale beträgt. — Im Falle des Quarzes ergibt die obige Gleichung für n^2 ein nur schwach ausgeprägtes Minimum der Fehlerquadratsumme $[\Delta\Delta]$. Deshalb ist es erforderlich, die langwierige Berechnung nochmals durchzuführen, obwohl sie die Summe $[\Delta\Delta]$ nur noch sehr wenig verringern wird; dagegen können die Konstanten A bis E noch recht merkliche Änderungen erleiden.

Unterabteilung IVb.

176. Durchlässigkeit von Gläsern im Ultraviolett[1]. Es wurden im Vergleich zum Vorjahre eine sehr große Anzahl von Glasproben mit gesteigerter Durchlässigkeit im ultravioletten Spektralgebiet zur Prüfung eingesandt. Diese von verschiedenen Firmen hergestellten Gläser finden neuerdings vielfache Anwendungen für medizinische Zwecke und auch als Fensterglas, da das ultraviolette Ende des Sonnenspektrums in menschlichen Wohnräumen hygienisch nützliche Wirkungen erzeugt. Es kommt hierbei darauf an, Gläser von möglichst konstant bleibender Durchlässigkeit für das Ultraviolett zu verwenden. Wie im Bureau of Standards gefunden wurde, zeigen manche Glasarten eine Abnahme ihrer Ultraviolettdurchlässigkeit oft schon nach wenigen Stunden Einwirkung ultravioletter Strahlen. Den Grund hierfür bilden geringe Verunreinigungen der Gläser durch Eisenoxydul (FeO), das durch die Bestrahlung in Eisenoxyd (Fe_2O_3) übergeht. Die Prüfungen haben ergeben, daß der Rückgang der Durchlässigkeit im Ultravioletten bei den untersuchten deutschen Glassorten erheblich geringer ist, als aus den bekannt gewordenen Untersuchungsergebnissen für die in Amerika geprüften Gläser festgestellt werden kann.

177. Augenuntersuchungen[1]. Die an tierischen Augen vorgenommenen Untersuchungen über die Durchlässigkeit ihrer Bestandteile für das ultrarote, sichtbare und ultraviolette Spektralgebiet sind veröffentlicht (vgl. Anh. 1, Nr. 162 und 163).

178. Objektivuntersuchungen[1]. Von den in der untenstehenden Tabelle angeführten Objektivprüfungen abgesehen, wurden

[1]) Wetthauer.

für die Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt in Adlershof eine Reihe von Untersuchungen an Flugzeugkameraobjektiven ausgeführt.

179. Zusammenstellung der auf Antrag ausgeführten Prüfungen [1]).

Die im Laboratorium für angewandte Optik ausgeführten dioptrischen und spektroskopischen Prüfungen sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Anzahl	Gegenstand	Art der Prüfung
2 (4)	Prismen	Lichtbrechungsvermögen für die *C*-, *D*- und *F*-Linie
1 (0)	Glasprobe	Lichtbrechungsvermögen für die *C*-, *D*-, *F*- und *G'*-Linie
1 (4)	Glasprobe	Durchlässigkeit für Ultrarot verschiedener Wellenlängen
132 (82)	Glasproben	Spektrogramme und Lichtdurchlässigkeit für sichtbares und ultraviolettes Licht verschiedener Wellenlängen
7 (0)	Zelldrahtmuster	Spektrogramme
5 (0)	Filterfolien	Spektrogramme
4 (0)	Glasproben	Durchlässigkeit für weißes Licht
11 (7)	Photogr. Objektive	Lage der Bildflächen, sphärische und chromatische Aberration
1 (0)	Fernrohr	Vergrößerung, Lichtstärke, Größe des Bildfeldes usw.
1 (0)	Glasspiegel	Reflexionsvermögen

180. Photometrische Prüfungen [2]).

Im Jahre 1927 wurden photometrisch geprüft:

96 (46) Hefnerlampen, davon wurden
68 beglaubigt;
1 (17) Kohlefadenlampe (Nachprüfung) als Normallampe,
334 (415) Metallfadenlampen, davon
 179 (278) als Normallampen für photometrische Zwecke,
 32 (—) als Normallampen für Internationale Vergleichungen,
 35 (3) als photometrische Normallampen bei verschiedenen Spannungen,
 13 (—) als Normallampen zur Nachprüfung,
 3 (3) Soffittenlampen,
 2 (—) als photometrische Normallampen mit vorgesetztem Blauglas,
 70 (127) Lampen in Dauerprüfung mit insgesamt 53774 (132991) Brennstunden;
23 Lampen (darunter 1 Heizlampe) für allgemeine und Steuerzwecke,
2 Glühlampen auf räumliche und horizontale Lichtverteilung,
3 Gasglühlichtlampen mit 7 Lichtverteilungskurven,
1 Photometrierung einer auswärtigen Beleuchtungsanlage,
1 Petroleumglühlichtlampe,
1 Luxmeter,
1 Tubusphotometer,
3 Reflektoren,
13 Filter und 6 Flüssigkeitsproben auf Durchlässigkeit bestimmt,
43 Aufnahmen mit dem Registrierphotometer.

181. Internationale Vergleichungen.

Die im vorigen Tätigkeitsbericht (*Zeitschr. f. Instrkde.* **47**. *S. 334. 1927. Heft* 7) erwähnten internationalen Vergleichungen wurden fortgesetzt und haben das dort angegebene Ergebnis bestätigt. Die Versuche, auch für die Farbe der gasgefüllten Nitralampe das Verhältnis $\frac{\text{I.C.P}}{\text{HK}}$ zu ermitteln, sind bisher an den Transportschwierigkeiten gescheitert; z. Zt. im Gange befindliche Vergleichungen, bei deren Durchführung die Reichsanstalt von der Glühlampenindustrie unterstützt wird, werden voraussichtlich auch hier bald Klarheit bringen.

Die in Bellagio (Oberitalien) anläßlich einer Tagung der Subkommissionen der Internationalen Beleuchtungskommission versammelten Vertreter der vier in Frage kommenden Staatsinstitute haben sich dort auf ein gemeinsames Arbeitsprogramm in der Frage der photometrischen Überbrückung des Farbensprunges geeinigt. Es sollen eine Reihe von Blaufiltern nach den verschiedenen Methoden

---

[1]) Wetthauer. [2]) Dziobek, Spiller.

in allen vier Laboratorien ausgemessen werden; diejenige Methode, die nach dem Ausfall dieser Versuche die beste Reproduzierbarkeit gewährleistet, soll dann in allen vier Instituten verwendet werden. Die Reichsanstalt hat es übernommen, im Einvernehmen mit der Fa. Carl Zeiss, Jena, für die 4 Staatsinstitute die notwendigen Kobaltfilter zu beschaffen.

182. Beteiligung an Normungsarbeiten. Das Laboratorium beteiligte sich an den Arbeiten zur Normung des Beleuchtungsglases; für diese Arbeiten sind 6 Matt- bzw. Trübglaskeile bez. ihrer diffusen und direkten Durchlässigkeit ausgewertet worden. Die verwendeten Meßmethoden sind im Zusammenhang mit Definitionsfragen veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 154).

Das Laboratorium beteiligt sich ferner an den auf Anregung des Reichsverkehrsministeriums aufgenommenen Arbeiten zur Normung der Signalgläser; bei weiterem Fortgang dieser Arbeiten wird sich das Fehlen geeigneter kolorimetrischer Meßeinrichtungen störend bemerkbar machen.

183. Registriereinrichtung[1]). Es wurde eine neue, besonders einfache Registriereinrichtung für die Aufnahme photographischer Schwärzungskurven konstruiert; die Einrichtung findet im photometrischen Laboratorium ständige Verwendung; eine nähere Beschreibung wurde veröffentlicht (Anh. 1, Nr. 159).

184. Beobachtungen während der Sonnenfinsternis[2]). Während der Sonnenfinsternis am 29. Juni 1927 wurde die Leuchtdichte des Himmels im Zenit sowie der Verlauf des Polarisationsazimuts und des Polarisationsgrades aufgenommen; ein Gang des Polarisationsazimuts während der Finsternis trat nicht in Erscheinung. Die Einzelheiten werden demnächst veröffentlicht.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
gez. Paschen.

Anhang.

Veröffentlichungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.

Allgemeines.

1. Bericht über die Tätigkeit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt im Jahre 1926. *Zeitschr. f. Instrkde.* **47.** *S. 217, 269 u. 321. 1927.*
2. Wissenschaftliche Abhandlungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. **10.** Heft 2, 105 S. **11.** Heft 1, 336 S. Berlin: Julius Springer. 1927.
3. Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht (11. Reihe Nr. 1—6), Berlin: Verlag Deutsches Reichsgesetzbuch für Industrie, Handel und Gewerbe, Robert und Bruno Schultz. 1927.
4. Gebührenordnung der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht, vom 15. März 1927 (Sonderdruck aus dem Deutschen Reichsanzeiger), Berlin: Verlag Deutsches Reichsgesetzbuch für Industrie, Handel und Gewerbe, Robert und Bruno Schultz. 1927.
5. Neuherausgabe der „Tafel zur Vergleichung der Angaben der eichfähigen Getreideprober", 5., durch einen Anhang »Buchweizentafel" erweiterte Auflage. Berlin: Verlag Julius Springer. 1927.
6. Bildliche Darstellungen von Fuhrwerks- und Gleiswaagen, Berlin: Verlag Deutsches Reichsgesetzbuch.
7. Bekanntmachung über das typographische Maßsystem vom 6. Januar 1927 (Mitt. 11. R. S. 1).
8. Bekanntmachung betreffend die Zulassung von Meßgeräten zur Eichung vom 22. März 1927 (Mitt. 11. R. S. 24—27).
9. Verordnung betreffend Übergangsbestimmungen für die Neueichung von Meßgeräten (Mitt. 11. R. S. 108).
10. Verordnung betreffend vorläufige Festsetzung von Eichgebühren vom 22. Dezember 1927 (Mitt. 11. R. S. 108 und 109).
11. Verordnung betreffend Änderungen und Ergänzungen der Eichordnung vom 21. Dezember 1927 (Mitt. 11. R. S. 89—107).

---

[1]) Spiller. [2]) Dziobek.

12. Gebühren der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Abteilung I für Maß und Gewicht, vom 15. März 1927 (Mitt. 11. R. S. 17/24).
13. Ätzstempel für Jahreszeichen zum Aufätzen auf Glas (Mitt. 11. R. S. 49).
14. Waagen und Gewichte, die in Backstuben zum Abwiegen des fertigen Teiges für die einzelnen Brote und Brötchen dienen, sind eichpflichtig, sobald die Gebäckstücke nach bestimmtem Gewicht verkauft werden (Mitt. 11. R. S. 55).
15. Wird zur Erfüllung des Tatbestandsmerkmals „Bereithalten" der §§ 6 und 22 der Maß- und Gewichtsordnung vom 30. Mai 1908 der Nachweis der Absicht der Benutzung von Meßgeräten für erforderlich gehalten? (Mitt. 11. R. S. 56).
16. Die Begriffsmerkmale des „Bereithaltens" im Sinne der §§ 6 und 22 der Maß- und Gewichtsordnung vom 30. Mai 1908 nach der inneren und äußeren Tatseite (Mitt. 11. R. S. 56 und 57).
17. Auch Gewerbetreibende, welche mit Genehmigung der Postbehörde für die von ihnen aufzuliefernden Pakete die Versandgebühren durch Wägungen selbst bestimmen, unterliegen der Eichpflicht nach §§ 6, 11, 22 der Maß- und Gewichtsordnung vom 30. Mai 1908 (Mitt. 11. R. S. 58).
18. Was lehrt die Rechtsprechung zur Maß- und Gewichtsordnung vom 30. Mai 1908 seit dem Weltkriege? (Dr. Drewitz, Mitt. 11. R. S. 81—84).
19. Wellenlängennormalen für Interferenzlängenmessungen (Helium, Neon, Krypton), (Mitt. 11. R. S. 51—53).
20. Eichung von Zapfanlagen mit Siemens-Scheibenmessern für Benzin und Benzol (Mitt. 11. R. S. 36—38).
21. Nachprüfung der Kontrollnormale für Handesgewichte, 20 kg bis 1 kg (Mitt. 11. R. S. 53 u. 54).
22. Bruttoabsackwaage, Bauart IIIa, zum Abwägen von Getreide und anderem freirollenden körnigen, pulver- oder sandförmigen Füllgut, mit 3 Figuren (Mitt. 11. R. S. 2 und 3).
23. Waagen mit Gewichtsanzeigevorrichtung (Mitt. 11. R. S. 49 und 50).
24. Waagen mit Neigungsgewichtseinrichtung, mit 33 Figuren (Mitt. 11. R. S. 65—75).
25. Prüfung selbsttätiger Balkenwaagen, mit 3 Figuren (Mitt. 11. R. S. 76—79).
26. Allgemeine Bestimmungen für die Eichung von Handelswaagen (Mitt. 11. R. S. 109—111).
27. Prüfung gleicharmiger Balkenwaagen, Eichordnung § 87, Nr. 4a (Mitt. 11. R. S. 111 und 112).
28. Prüfung von Tafelwaagen (Mitt. 11. R. S. 112).
29. Verzeichnis der Verfertigerkennzeichen der Waagenbaufirmen (Mitt. 11. R. S. 13—16, S. 29—32, S. 45—48, S. 59—64, S. 85—88).
30. Über Wulsthöhen am Aräometer, nebst Nomogramm (Mitt. 11. R. S. 11 und 12).
31. Prüfung nasser Gasmesser mit Meßtrommel von 150 cbm Stundenleistung und mehr, mit 1 Fig. (Mitt. 11. R. S. 3—10).
32. Bezeichnung von Gasautomaten (Mitt. 11. R. S. 33).
33. Zulassung von Gasautomaten (Mitt. 11. R. S. 33—35).
34. Gasmesser mit heraufgesetzter Leistungsfähigkeit (Mitt. 11. R. S. 35).
35. Formblätter für die Prüfung großer nasser Gasmesser (Mitt. 11. R. S. 38—44).
36. Normale Füllung der Kontrollgasmesser (Mitt. 11. R. S. 50).
37. Bekanntmachungen über Prüfungen und Beglaubigungen durch die Elektrischen Prüfämter. Nr. 226 bis 248. *Reichsministerialblatt* ***54.*** *S. 960, 1001, 1017. 1926.* ***55.*** *S. 22, 63, 73, 105, 142, 162, 194, 199, 209, 219, 351, 437, 516, 517. 1927. Elektrotechn. Zeitschr.* ***48.*** *S. 48, 109, 174, 242, 326, 397, 540, 616, 770, 1004, 1078, 1265, 1299, 1336, 1376, 1416, 1454, 1484, 1573, 1696, 1736, 1806. 1927.*
38. Prüf- und Gebührenordnung für Flüssigkeitsthermometer. Gültig vom 1. August 1927 ab.

Präsidial-Abteilung.

Amtliche Veröffentlichungen.

39. Bothe, Lichtquanten und Interferenz. *Zeitschr. f. Physik* ***41.*** *S. 332. 1927.*
40. Bothe, Ein Versuch zur magnetischen Beeinflussung des Comptoneffekts. *Zeitschr. f. Physik* ***41.*** *S. 872. 1927.*

41. Bothe, Bemerkung zur Zerstreuung magnetischer Elektronen. *Zeitschr. f. Physik* ***44.*** *S. 543. 1927.*
42. Bothe, Über Radium-Normallösungen. *Zeitschr. f. Physik* ***46.*** *S. 896. 1928.*
43. Bothe und Fränz, Atomzertrümmerung durch α-Strahlen von Polonium. *Zeitschr. f. Physik* ***43.*** *S. 456. 1927.*
44. Fränz, Ein Meßinstrument für starke α-Strahlenpräparate. *Zeitschr. f. Physik* ***44.*** *S. 757. 1927.*
45. Gieseler, Gesetzmäßigkeiten im Funkenspektrum von Blei. *Zeitschr. f. Physik* ***42.*** *S. 265. 1927.*
46. Kolhörster (mit v. Salis), Die tägliche Periode der Höhenstrahlung. *Berl. Ber. 1927. S. 92.*
47. Meißner, Das neue Kältelaboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *VDI.-Nachr. 1927. Nr. 50.*

Private Veröffentlichungen.

48. Bothe, Die Absorption der Röntgenstrahlen vom klassischen Standpunkt. *Zeitschr. f. Physik* ***40.*** *S. 653. 1927.*
49. Bothe, Zur Statistik der Hohlraumstrahlung. *Zeitschr. f. Physik* ***41.*** *S. 345. 1927.*
50. Bothe, Durchgang von Elektronen durch Materie. *Handb. d. Physik* ***24.*** *S. 1. 1927.*
51. Bothe, Mitarbeit an der 15. Auflage von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 1927.
52. Bothe und Fränz, Untersuchung von Atomtrümmern mit dem Spitzenzähler. *Die Naturwiss.* ***15.*** *S. 445. 1927.*
53. Bothe und Fränz, Neue Versuche über Atomzertrümmerung. *Forschungen und Fortschritte* ***3.*** *S. 123. 1927.*
54. Kolhörster, Der Ursprung der Höhenstrahlung. *Forschungen und Fortschritte* ***3.*** *S. 76. 1927.*
55. Kolhörster, Die Höhenstrahlung. *Die Sterne* ***7.*** *S. 94. 1927.*
56. Kolhörster, Forschungen über Höhenstrahlung. *Die Umschau* ***31.*** *S. 453. 1927.*
57. Kolhörster, Höhenstrahlung und Heaviside-Schicht. *Die Naturwiss.* ***15.*** *S. 126. 1927.*
58. Kolhörster, Notiz zum sogenannten Barometereffekt der Höhenstrahlung. *Zeitschr. f. Physik* ***44.*** *S. 754. 1927.*
59. Meißner, Das elektrische Verhalten der Metalle im Temperaturgebiet des flüssigen Heliums. *Zeitschr. f. d. ges. Kälteindustrie* ***34.*** *S. 197. 1927.*
60. Meißner, Telephon und Mikrophon. *Handbuch der Physik* ***16.*** *S. 167—200. 1927.*
61. Paschen, Die Lichtanregung durch den metastabilen Zustand der Edelgasatome. *Berl. Ber. 1927. S. 207.*
62. Sawyer, *A new one meter Vacuum Spectrograph Design. Journ. Opt. Soc. Amer.* ***15.*** *S. 305. 1927.*
63. Sawyer, Das Bor-Bogenspektrum. *Die Naturwiss.* ***15.*** *S. 765. 1927.*
64. Sawyer und Paschen, Das erste Funkenspektrum des Aluminium Al II. *Ann. d. Physik* ***84.*** *S. 1. 1927.*
65. Scheel, Mitarbeit an der 15. Auflage von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 1927.
66. Scheel (mit Geiger), Herausgabe des Handbuches der Physik. Berlin: Julius Springer. 1927; in 1927 sind weitere 8 Bände erschienen.
67. Scheel (mit Roth), Herausgabe des Ersten Ergänzungsbandes zu Landolt-Börnstein, Physikalisch-chemische Tabellen, 5. Aufl., X und 919 S. Berlin: Julius Springer. 1927. — Mitarbeiter aus der Reichsanstalt: Behnken, Bein, Erk, Henning, Jaeger, Jakob, Meißner, Schönrock, v. Steinwehr.

Abteilung I.

Amtliche Veröffentlichungen.

68. Weber, Eine neue Methode höchster Genauigkeit zur interferometrischen Wellenlängenmessung und die erstmalige Anwendung zur Vorbestimmung der für den deutschen Anschluß des Meters an Lichtwellen vorgesehenen Kryptonlinien (nach gemeinsamen Versuchen von Kösters, Lampe und Weber). Vortrag auf der Physikertagung in Bad Kissingen. *Physikal. Zeitschr.* ***29.*** *1928.*

Private Veröffentlichungen.

69. Drewitz, Die Frage der Eichpflicht für Backstubenwaagen und die Rechtsprechung. *Bäcker- und Conditor-Tages-Zeitung, Berlin, Montag, den 20. Juni 1927, Nr. 145.*

70. Drewitz, Was lehrt die Rechtsprechung zur Maß- und Gewichtsordnung vom 30. Mai 1908 seit dem Weltkriege? *Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Abt. I für Maß und Gewicht, 11. Reihe, Nr. 5, S. 81, 1927.*

71. Drewitz, Bearbeitung und kritische Besprechung der Judikatur im Maß- und Gewichtsrecht. *Jurist. Wochenschr. 1927, Heft 29, S. 1714; Heft 36, S. 2072; Heft 39, S. 2235; Heft 48, S. 2820; Mitteilungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt Abt. I für Maß und Gewicht, 11. Reihe, Nr. 4, S. 55 und 56, 1927.*

Abteilung II.

Amtliche Veröffentlichungen.

72. Behnken, Die Absolutbestimmung der Dosiseinheit „1 Röntgen" in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. *Strahlentherapie* ***26.*** *S. 79. 1927.*

73. Engelhardt und Gehrcke, Akustische Untersuchungen, besonders zur Vokaltheorie und Wortbildung. *Zeitschr. f. Psychol. Forsch.* ***10.*** *S. 32. 1927.*

74. Giebe und Scheibe, Piezoelektrische Erregung von Dehnungs-, Biegungs- und Drillungsschwingungen bei Quarzstäben. *Zeitschr. f. Physik* ***46.*** *S. 607. 1928.*

75. Grüneisen und Goens, Untersuchungen an Metallkristallen. V. Elektrizitäts- und Wärmeleitung von ein- und vielkristallinen Metallen des regulären Systems. *Zeitschr. f. Physik* ***44.*** *S. 615. 1927.*

76. Güntherschulze, Die Ventilwirkung des Silbers in wässerigen Lösungen von Kaliumsilbercyanid. *Zeitschr. f. Physik* ***40.*** *S. 876. 1927.*

77. Güntherschulze, Der Gradient in der positiven Säule der Glimmentladung. I. Stickstoff, Wasserstoff, Neon. *Zeitschr. f. Physik* ***41.*** *S. 718. 1927.*

78. Güntherschulze, Dasselbe. II. Sauerstoff, Luft, Wasserdampf, Helium, Argon, Krypton, Xenon, Quecksilber. *Zeitschr. f. Physik* ***42.*** *S. 763. 1927.*

79. Gumlich, Steinhaus, Kußmann und Scharnow, Über Materialien mit hoher Anfangspermeabilität. *Elektr. Nachrichten-Technik* ***5.*** *S. 83. 1928.*

80. Schulze, Über einige physikalische Eigenschaften des Kobalts. *Zeitschr. f. techn. Physik* ***8.*** *S. 365. 1927.*

81. Schulze, Zur Konstitution der Kobalt-Nickel- und Kobalt-Eisenlegierungen. *Zeitschr. f. techn. Physik* ***8.*** *S. 423. 1927.*

82. Schulze, Die thermische Ausdehnung der Kobalt-Nickel-, Kobalt-Eisen- und Eisen-Nickellegierungen. *Physikal. Zeitschr.* ***28.*** *S. 669. 1927.*

83. Schulze, Eine exakte Methode zur Messung der Magnetostriktion. *Arch. f. Elektrotechn.* ***18.*** *S. 683. 1927.*

84. Steinhaus und Kußmann, Hochfrequenzöfen für kleine Einsätze. *Zeitschr. f. Metallkde.* ***19.*** *Heft 9. 1927.*

85. v. Steinwehr und Schulze, Die Quecksilbernormale der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt für das Ohm (Fortsetzung V). *Wiss. Abh. d. Phys.-Techn. Reichsanst.* ***11.*** *S. 75. 1927.*

86. Zickner, Eine handliche Meßbrücke zur Bestimmung von Induktivitäten und Kapazitäten. *Arch. f. Elektrotechn.* ***19.*** *S. 49. 1927.*

87. Behnken, Neuere physikalische Forschungen auf dem Gebiete der Röntgenstrahlen. *Beihefte zur medizinischen Klinik* ***23.*** *S. 138. 1927.*

Private Veröffentlichungen.

88. Engelhardt, Der Glimmlichtoszillograph. *Helios* ***33.*** *S. 95. 1927.*

89. Engelhardt, Das Weltbild der Technik. *Helios* ***33.*** *S. 148. 1927.*

90. Giebe, Mitarbeit an der 15. Auflage von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. 1927.

91. Giebe, Kondensatoren und Induktivitätsspulen. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 470. 1927.*

92. Giebe, Messung von Kapazitäten und Induktivitäten. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 495. 1927.*

93. Giebe, Piezoelektrische Kristalle als Frequenznormale. (Nach gemeinsamen Versuchen mit A. Scheibe.) Vortrag, gehalten auf dem „Congrès International de Télégraphie et Téléphonie avec et sans fil en l'honneur de Volta" zu Como, Sept. 1927. *Europäischer Fernsprechdienst, Como-Heft, 1928.*

94. Güntherschulze, Dielektrika. *Handbuch d. Physik* **12.** *S. 493. 1927.*

95. Güntherschulze, Austritt von Elektronen und Ionen aus glühenden Körpern. *Handbuch d. Physik* **13.** *S. 154. 1927.*

96. Güntherschulze, Elektrische Ventile, Gleichrichter, Verstärkerröhren, Relais. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 121. 1927.*

97. Güntherschulze, Auf thermischer Grundlage beruhende Meßinstrumente. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 331. 1927.*

98. Güntherschulze, Auf elektrolytischer Wirkung beruhende Meßinstrumente. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 341. 1927.*

99. Güntherschulze, Elektrometrie. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 415. 1927.*

100. Güntherschulze, Messung der Dielektrizitätskonstanten und des Dipolmomentes. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 540. 1927.*

101. Güntherschulze, Galvanische Elemente. Monographien über angewandte Elektrochemie. Bd. 48. 184 S. Halle (Saale): Wilhelm Knapp. 1928.

102. Güntherschulze, Electric Rectifiers and Valves. Translated by Norman A. de Bruyne. 212 S. London: Chapman & Hall Ltd. 1927.

103. Güntherschulze, Kathodenzerstäubung. *Zeitschr. f. techn. Physik* **8.** *S. 169. 1927.*

104. Güntherschulze, Elektrische Isoliermaterialien. *Zeitschr. f. Elektrochem.* **33.** *S. 360. 1927.*

105. Güntherschulze, Die Elektrotechnik auf der Werkstoffschau. *Helios* **33.** *S. 483. 1927.*

106. Jaeger, Die Frage der Röntgendosiseinheit *R* in der Therapie. Intern. Radiotherapie, herausgegeben von I. Wetterer, Mannheim, Bd. 2, Darmstadt: L. C. Wittich Verlag. 1926/27.

107. Jaeger, Elektrizitätslehre mit ausgewählten Kapiteln aus der Physik (Repetitorium für techn. Assistentinnen). Berlin SW 48: Verlag C. F. Pilger & Co. 1927.

108. Jaeger u. Kußmann, Über Gleichstromverstärkung, ihre Anwendung zu Meßzwecken und ihre Grenzen. *Physikal. Zeitschr.* **28.** *S. 645. 1927.*

109. Scheibe, Normalfrequenzen und absolute Frequenzmessung. *Jahrb. d. drahtl. Telegr.* **29.** *S. 120 u. 158. 1927.*

110. Scheibe, Kurzwellensender. Taschenb. d. drahtl, Telegraphie u. Telephonie, S. 989. 1927.

111. Schmidt, Wechselströme. *Handbuch der Physik* **15.** *S. 384. 1927.*

112. Schmidt, Elektrodynamische Meßinstrumente. *Handbuch der Physik* **16.** *S. 253. 1927.*

113. Schmidt, Schering, Güntherschulze, Messung des Stromes, der Spannung, der Elektrizitätsmenge, der Leistung und der Arbeit. *Handbuch der Physik* **16.** *S. 368. 1927.*

114. Schulze, Thermische Leitfähigkeit und Leitverhältnis von Legierungen in Beziehung zur Konstitution. *Zeitschr. f. anorgan. Chem.* **159.** *S. 325. 1927.*

115. Schulze, Schwefelsauerstoffsäuren. *Handb. d. anorgan. Chem.* **4.** 1.

116. Schulze, Die thermische Ausdehnung der Metalle und Legierungen. Handbuch d. Metallogr. 2. Bd. Zweiter Teil, 5. Heft. 2. Lieferung.

117. Schulze, Die thermische Leitfähigkeit der Legierungen und Verbindungen. Handbuch d. Metallogr. 2. Bd., zweiter Teil, 7. Heft, 2. Lieferung.

118. Schulze, Die Werkstofftagung in Berlin. *Helios* **33.** *S. 463. 1927.*

119. Schulze, Thermische Leitfähigkeft und Leitverhältnis von Legierungen und Beziehung zur Konstitution. *Zeitschr. f. anorg. Chem.* **159.** *S. 325. 1927.*

120. Steinhaus, Die magnetischen Eigenschaften der Körper. *Handbuch d. Physik* **15.** *S. 147. 1927.*

121. Steinhaus, Messungen an para- und diamagnetischen Stoffen. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 679. 1927.*

122. Steinhaus, Über unsere Kenntnis von der Natur der ferromagnetischen Erscheinungen und von den magnetischen Eigenschaften der Stoffe. *Ergebnisse d. exakten Naturw.* **6.** *S. 44. 1927.*
123. v. Steinwehr, Elemente. *Handbuch d. Physik* **13.** *S. 628. 1927.*
124. v. Steinwehr, Methoden zur Messung des elektrischen Widerstandes. *Handbuch d. Physik* **16.** *S. 445. 1927.*
125. v. Steinwehr, Schwefel und Schwefelverbindungen. Abegg-Auerbach, *Handb. d. anorg. Chem.* **4.** *1.*
126. R. Vieweg u. V. Vieweg, Über die Bildung des Ölfilms in Schwinglagern. *Maschinenbau* **6.** *S. 234. 1927.*
127. V. Vieweg (mit vom Ende), Die Lagerprüfung. Werkstoffhandbuch, Blatt B 13, Berlin 1927.
128. Zickner, Eine technische Induktivitätsmeßbrücke. *Zeitschr. f. Fernmeldetechnik* **8.** *S. 59. 1927.*
129. Zickner, Kondensatoren. Banneitz, Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie S. 236. 1927.
130. Zickner, Spulen. Banneitz, Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie S. 344. 1927.
131. Zickner, Kapazitäts- und Induktivitätsmessungen. Banneitz, Taschenbuch der drahtlosen Telegraphie und Telephonie S. 623. 1927

Abteilung III.

Amtliche Veröffentlichungen.

132. Ebert, Das Aspirations-Psychrometer II. *Zeitschr. f. Physik* **43.** *S. 335. 1927.*
133. Erk, Zähigkeitsmessungen an Flüssigkeiten und Untersuchung von Viskosimetern. Forsch. Arb. a. d. Geb. d. Ingenieurwesens, Heft 288. 54 S. Berlin: VDI.-Verlag. 1927.
134. Erk, Untersuchung einiger technischer Zähigheitsmesser. *Zeitschr. f. techn. Physik* **8.** *S. 595. 1927.*

Private Veröffentlichungen.

135. Ebert, Vakuumtechnische Apparate. *Glas u. Apparat* **8.** *S. 153 u. 163. 1927.*
136. Ebert (mit Pfeiffer), Das Aspirations-Psychrometer. *Zeitschr. f. Physik* **46.** *S. 420. 1927.*
137. Erk, Raumheizung mit Gas und Elektrizität. *Technik im Hotel* **3.** *S. 57. 1927.*
138. Erk, Über die Normung von Einschraubthermometern. *Meßtechnik* **3.** *S. 200 u. 259. 1927.*
139. Erk, Der Deutsche Physiker- und Mathematikertag in Kissingen 1927. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **71.** *S. 1758. 1927.*
140. Henning, Ludwig Holborn †. *Physikal. Zeitschr.* **28.** *S. 157. 1927.*
141. Henning, Über die Möglichkeit zur praktischen Temperaturmessung unterhalb — 193° C *Zeitschr. f. d. ges. Kälteindustrie* **34.** *S. 21. 1927.*
142. Jakob, Neue Ergebnisse der wärmetechnischen Forschung im VDI. *Arch f. Wärmewirtsch. u. Dampfkesselwes.* **8.** *S. 65. 1927.*
143. Jakob, Technische Physik. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **71.** *S. 169. 1927.*
144. Jakob, Zum 25 jährigen Bestehen des Laboratoriums für technische Physik der Technischen Hochschule München. *Zeitschr. f. techn. Physik* **8.** *S. 89. 1927.*
145. Jakob, Forschungsergebnisse des Münchener Laboratoriums für technische Physik aus dem 21. bis 25. Jahre seines Bestehens. *Gesundheits-Ing.* **50.** *S. 161. 1927.*
146. Jakob, Ein einfacher Beweis der Ungültigkeit des Daltonschen Gesetzes für wirkliche Gase. *Zeitschr. f. Physik* **41.** *S. 737. 1927.*
147. Jakob, Über einen Druckeffekt beim Mischen von Gasen. *Zeitschr. f. Physik* **41.** *S. 739. 1927.*
148. Jakob, Fortschritte der Kältephysik und Kältetechnik. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **71.** *S. 1304. 1927.*
149. Jakob, Zur Definition der Wärmewiderstände. *Zeitschr. f. d. ges. Kälteindustr.* **34.** *S. 141. 1927.*
150. Jakob, Die Physikalisch-Technische Reichsanstalt im Jahre 1926. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **71.** *S. 1406. 1927.*
151. Jakob, Stand der amerikanischen Dampfforschung. *Zeitschr. d. Ver. d. Ing.* **71.** *S. 1435. 1927.*

152. Jakob, Messungen der Wärmeleitzahl im Massachusetts Institute of Technology. *Arch. f. Wärmewirtsch. u. Dampfkesselwes.* **8.** *S. 358. 1927.*

153. Jakob, *A note on the coefficients of discharge of nozzles. Engineering* **124.** *S. 838. 1927.*

Abteilung IV.

Amtliche Veröffentlichungen.

154. Dziobek, „Diffuse" und „direkte" Durchlässigkeit und Methoden zur Messung derselben. *Zeitschr. f. Physik* **46.** *S. 307. 1928.*

155. Dziobek (mit Pirani), Normallampen für hohe Farbtemperatur. *Licht u. Lampe 1927. S. 473.*

156. Gehrcke und Lau, Verschärfte Interferenzen. *Zeitschr. f. techn. Physik* **8.** *S. 157. 1927.*

157. Lau, Fortentwicklung der interferenzspektroskopischen Methoden. *Zeitschr. f. techn. Physik* **8.** *S. 537. 1927.*

158. Schönrock, Elektromagnetische Drehung der Polarisationsebene gelöster Substanzen. *Zeitschr. f. Physik* **46.** *S. 314. 1928.*

159. Spiller, Einrichtung zur automatischen Aufnahme von Schwärzungskurven. *Zeitschr. f. Instrkde.* **47.** *S. 493. 1927.*

Private Veröffentlichungen.

160. Schönrock, Mitarbeit an der 15. Aufl. von Kohlrausch, Lehrbuch der praktischen Physik. *1927.*

161. Spiller, Objektive Photometrie. *Licht und Lampe 1927. S. 333.*

162. Wetthauer (mit Roggenbau), Zur Frage der Durchlässigkeit der Hornhautlinse und des Glaskörpers für kurzwelliges Licht und Untersuchungen an Rinds- und Kalbsaugen. *Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde.* **78.** *S. 762. 1927.*

163. Wetthauer (mit Roggenbau), Über die Durchlässigkeit der brechenden Augenmedien für langwelliges Licht nach Untersuchungen am Rindsauge. *Klin. Monatsbl. f. Augenheilkde.* **79.** *S. 456. 1927.*

Entladungsrohr für photometrische Messungen, insbesondere im Ultraviolett.

Von

Ernst Lau in Charlottenburg.

(Mitteilungen aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Gehrcke und Lau[1]) haben ein Rohr konstruiert, das ein relativ starkes, weit ins Ultraviolett reichendes kontinuierliches Spektrum aussendet. Es handelt sich um ein Wasserstoffentladungsrohr, bei dem die positive Säule nicht, wie gewöhnlich, in einem blanken Glasrohr ausgebildet ist, sondern in einem innen halb durchlässig versilberten Glasrohr. Dieses Rohr ist inzwischen von Bey und Steiner[2]) für größere Lichtstärken weiter entwickelt worden.

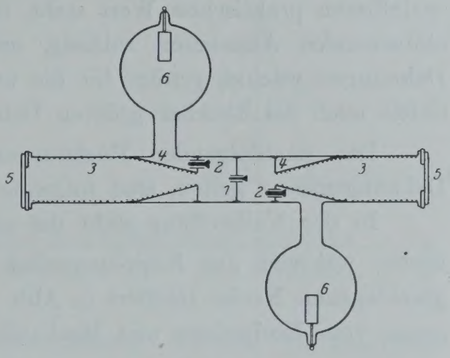
Für photometrische Messungen sind derartige Rohre insofern ungünstig, als die Silberschicht und damit die Intensität der Lichterscheinung sich langsam ändert. Ferner ist die Lichterscheinung räumlich nicht genau definiert. Es wurde daher ein Rohr entwickelt, das in der Abbildung schematisch wiedergegeben wird. Die eigentliche Leuchterscheinung befindet sich in einem Aluminium-Zylinder (1) von etwa 1 cm Länge und 5 bis 10 mm Durchmesser. Wird der Metall-Zylinder länger gewählt, so wird der Widerstand im Innern des Zylinders so groß, daß sich keine positive Säule im Innern mehr ausbildet, sondern die Blende wirkt als Zwischenelektrode. Es bildet sich dann eine anodische und kathodische Lichterscheinung aus. Die Blende wird durch Alu-

---

1) *Sitzungsber. d. Berl. Akad.* **32.** *S. 453. 1922.*

2) *Zeitschr. f. Physik* **45.** *S. 337. 1927.*

miniumblech, das sich an die Seiten der Wand anlehnt, gehalten. Die Form der Leuchterscheinung bei reinem Wasserstoff wird durch die schwarze Figur im Innern der Blende wiedergegeben. Ähnliche Blenden befinden sich bei (2). Der Raum zu den Quarzfenstern hin ist durch konische Rohre aus Aluminiumblech (4) abgeschirmt. In diesen ganzen Räumen finden sich keinerlei Leuchterscheinungen. Um Reflexion an der Innenwand dieses Konus und an den zylindrischen Glaswänden in der Nähe der Quarzfenster zu verhindern, ist ein Eisendrahtnetz eingelegt. Dieses Drahtnetz wirkt wie eine große Anzahl Blenden. Blickt man von den Quarzfenstern (5) aus in das Rohr, so sieht man nur die Leuchterscheinung bei 1. Da sich die Blende nicht verbraucht, wie das Silber, so hält dasselbe Leuchten bei gleichem Druck und gleicher Stromstärke an. Die Leuchterscheinungen in der Nähe der Kathoden (6) können leicht abgeschirmt werden. Bei Wasserstoffüllung tritt das bekannte kontinuierliche Spektrum auf; das allen Anforderungen an Konstanz bei Absorptionsmessungen genügt. In der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt werden die Absorptionsmessungen im Ultraviolett mit einem derartigen Rohr ausgeführt. Die gewöhnlich benutzte Stromstärke beträgt 10 bis 30 mA[1]). Das Rohr kann mit Gleich- oder Wechselstrom betrieben werden. Der Druck beträgt am besten ca. 1 mm. Bei Wasserstoffentladung muß für weitgehende Reinigung[2]) gesorgt werden, sonst treten Leuchterscheinungen auf, die sich nicht auf den Ort der Blenden beschränken, sondern die in verschiedener Weise auch den Raum zwischen den Blenden ausfüllen.



Für photometrische Zwecke im Sichtbaren ist das Rohr gleichfalls gut brauchbar. Gemeinsame Versuche mit Herrn Dziobek haben über weite Gebiete eine lineare Abhängigkeit der Intensität von der Stromstärke erwiesen. Bei photometrischen Messungen mit einer derartigen Lampe als Vergleichslichtquelle kann man daher auf einen rotierenden Sektor verzichten.

Beitrag zur Entwicklung von Dehnungsmessern kleiner Meßlänge.

Von

Dipl.-Ing. **Kurt Böttcher** in Danzig.

(Fortsetzung und Schluß von S. 247.)

VI.

Der systematische Fehler des Dehnungsmessers.

Da sich der Beobachter auch von der Größe des systematischen Fehlers Rechenschaft geben muß, wenn er die Zuverlässigkeit seiner Messungen richtig beurteilen will, sei im folgenden auch diese Frage erörtert.

Der Dehnungsmesser bildet zusammen mit dem Versuchskörper ein zwangläufig bewegtes Getriebe, von dem wir stillschweigend annehmen, daß die beobachteten Aus-

---

[1]) Bei starken Stromstärken treten in dem Zylinder auch die Bogenlinien der Metalle auf.

[2]) Bei geringen Drücken (ca. 0,1 mm) tritt bei großer Reinheit das Kontinuum sehr zurück, es scheint jedoch nie ganz zu verschwinden, vgl. Oldenberg, *Physikal. Zeitschr.* ***41.*** *S. 1. 1927.*

schläge des Zeigers den gemessenen Dehnungen proportional sind. Streng genommen ist das aber nicht der Fall. Die Abweichung von dieser Annahme stellt den systematischen Fehler dar. Zu seiner Bestimmung gehört die Diskussion der Bewegungen sämtlicher zu dem zwangläufigen Getriebe zusammengesetzten Einzelteile. Die Summe der bei der Betrachtung der einzelnen Glieder gefundenen Teilfehler ergibt den gesuchten systematischen Fehler.

Die mathematisch exakte Errechnung des systematischen Fehlers ist sehr umständlich und zeitraubend. Da der Aufwand an Arbeit in keinem Verhältnis zu dem erzielbaren praktischen Wert steht, erscheint die Durchführung der Rechnung mit vereinfachenden Annahmen zulässig, und da ferner der systematische Fehler mit den Dehnungen wächst, genügt für die unbedeutenden Einzelfehler der Nachweis, daß ihre Größe auch bei denkbar größten Dehnungswerten vernachlässigt werden kann.

Den nachfolgenden Rechnungen, die sinngemäß auch für andere zweihebelige Dehnungsmesser gelten, sind folgende Annahmen zugrunde gelegt.

In der Nullstellung steht der eigentliche Schneidenhebel senkrecht auf der Meßfläche, während das Kupplungsstück t gleichzeitig die beiden mit den Hebellängen geschlagenen Kreise tangiert (s. Abb. 16). Beide Bedingungen lassen sich einigermaßen genau vom Beobachter und Mechaniker erfüllen.

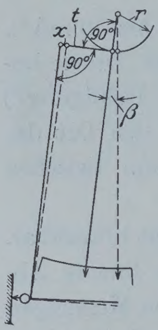


Abb. 16.

Die Zeigernadel steht in der Nullstellung auf der Mitte der Skala, was bei dem vorliegenden Dehnungsmesser dadurch erreicht ist, daß die Nadel am Zeigerkopf in ihrer Schwingungsebene ein wenig seitwärts gebogen ist[1]).

Die kurzen Hebellängen betragen rund 3 bzw. 1,5 mm, die Länge des Kupplungsstückes 10 mm.

I. Die systematischen Fehler des Schneidenhebels sind ähnlicher Natur wie die beim Martensschen Spiegelapparat[2]).

Sie bleiben hier jedoch — wie die Rechnung zeigt — auch bei den größten praktisch vorkommenden Dehnungen einer kleinen Meßstrecke so unbedeutend, daß sie ohne weiteres immer vernachlässigt werden können.

Ebenso kann auch die Bewegung des Endpunktes des langen Hebelarms als geradlinig angesehen werden.

II. Der systematische Fehler des Zeigerhebels ist je nach der verwendeten Ablesevorrichtung verschieden. Es kommen 3 Fälle in Betracht (Abb. 17).

1. Parallel geteilte Zeigerskala; beobachteter Ausschlag an der äußersten Zeigerspitze proportional der Strecke w.
2. Radial geteilte Zeigerskala; beobachteter Ausschlag proportional der Bogenlänge y.
3. Fernrohrskala (gerade); beobachteter Ausschlag proportional der Strecke z, vorausgesetzt, daß bei Beginn der Messung die Fernrohrachse senkrecht zur Spiegelfläche und Skala steht.

---

[1]) Bemerkt sei noch, daß der Mittelpunkt der Kreisskala in Wirklichkeit nicht genau mit dem Gelenk des Zeigerhebels zusammenfällt, was praktisch aber völlig belanglos ist.

[2]) G. Jensch, Der systematische Fehler der Messung mit dem Martensschen Spiegelapparat. Mitteilungen aus dem Materialprüfungsamt zu Berlin-Lichterfelde-West 1920. 1. Heft. (Berlin bei Julius Springer.)

In der Abb. 16 bedeutet

x die Bewegung des Endpunktes des Schneidenhebels,

t die Länge des Kupplungsstückes,

β der Ausschlagwinkel des kurzen Armes des Zeigerhebels[1]),

χ der dem Winkel β entsprechende Ausschlagwinkel des Kupplungsstückes.

Die Abweichungen der den beobachteten Ausschlägen proportionalen Strecken von der Länge x sollen in Prozenten der letzteren angegeben werden und in der Reihenfolge obiger Zusammenstellung mit f_1, f_2, f_3 bezeichnet werden.

Als unabhängige Veränderliche wird der Ausschlagwinkel β eingeführt.

Für den systematischen Fehler des Zeigerhebels ergeben sich dann folgende Werte:

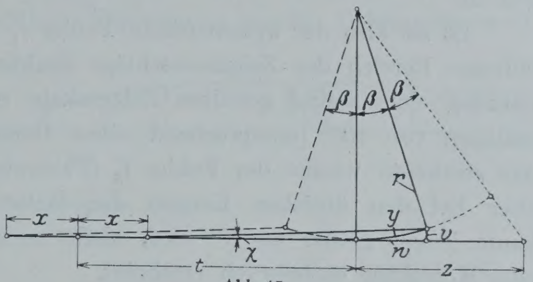


Abb. 17.

Parallel geteilte Zeigerskala.

$$f_1 = \frac{w - x}{x} 100\,\%.$$

$$x = w \pm t\,(1 - \cos\chi).$$

Hierin gilt das $+$-Zeichen vor dem Klammerausdruck für eine Verlängerung, das $-$-Zeichen für eine Verkürzung der Meßstrecke.

$$\sin\chi = \frac{v}{t} = \frac{r\,(1 - \cos\beta)}{t}$$

$$w = r \cdot \sin\beta$$

$$f_1 = \mp \frac{1 - \cos\chi}{\frac{r}{t} \cdot \sin\beta + (1 - \cos\chi)} 100\,\%.$$

Da der Ausdruck $(1 - \cos\chi)$ auch für sehr große, praktisch kaum noch verwertbare Zeigerausschläge und auch für die größten vorkommenden Verhältniswerte $\frac{r}{t}$ verschwindend klein bleibt, kann er unbedenklich vernachlässigt werden. Es ist dann

$$x \approx w.$$

$$f_1 \approx 0$$

(für $\beta = 20^0$ wird $f_1 = 0{,}1\,\%$).

Radial geteilte Zeigerskala.

$$f_2 = \frac{y - x}{x} 100 \approx \frac{r\beta - r \cdot \sin\beta}{r \cdot \sin\beta} 100 = \frac{\beta - \sin\beta}{\sin\beta} 100\,\%.$$

Gerade Fernrohrskala.

Der Fehler f_3, der durch Ablesung an einer geraden Fernrohrskala entsteht, läßt sich aus dem Fehler f_2 ableiten.

Bei Verwendung einer kreisförmigen Skala wäre die Ablesung proportional y, also mit dem gleichen Fehler f_2 behaftet. Bei einer geraden Skala wird der Ausschlag proportional der Strecke z oder $\operatorname{tg} 2\beta$.

Die prozentuale Abweichung der Strecke z von y beträgt

$$f' = \frac{\operatorname{tg} 2\beta - 2\beta}{2\beta} 100\,\%.$$

---

[1]) Einem Winkel von $\beta = 1^0$ entsprechen 3 Teilstriche.

Der Gesamtfehler f_3 ergibt sich nunmehr aus der Gleichung

$$\left(1+\frac{f'}{100}\right)\left(1+\frac{f_2}{100}\right)=1+\frac{f_3}{100},$$

worin für die Werte f die Prozentzahlen einzusetzen sind, oder solange die Fehler hinreichend klein sind, einfacher aus der Beziehung

$$f_3 = f' + f_2.$$

Das Ergebnis der zahlenmäßigen Errechnung dieser Fehler ist in Abb. 18 dargestellt.

Es ist also der systematische Fehler f_1 der parallel geteilten Zeigerskala für den üblichen Bereich der Zeigerausschläge praktisch gleich Null. Aber auch der bei Benutzung einer radial geteilten Zeigerskala entstehende Fehler f_2 bleibt bis zu Ausschlägen von 10^0 (entsprechend einer Dehnung von rd. $\frac{1}{100}$ mm) kleiner als $^1/_2$ %. Am stärksten wächst der Fehler f_3 (Fernrohrskala) mit dem Ausschlagwinkel β. Da aber bei den üblichen Längen der Maßstäbe und Skalenabstände der Winkel β kaum jemals größer als 5^0 wird, bleibt auch dieser Fehler in so kleinen Grenzen, daß eine Korrektur entbehrlich erscheint.

Erfolgt der Ausschlag des Zeigerhebels nicht von der oben gekennzeichneten Nullstellung aus, wie bisher angenommen, sondern von einer anfänglichen Auslenkung β_0 ab, so ergeben sich für diese Ausschläge β' ein wenig größere Fehler als die oben berechneten.

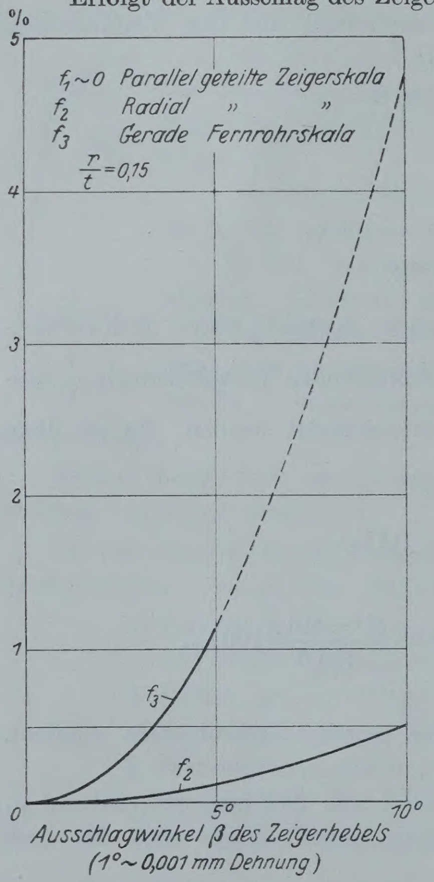


Abb. 18. Der systematische Fehler des Dehnungsmessers.

Beispielsweise ergibt sich bei der Messung einer Dehnung mit Hilfe des äußersten Teiles einer Kreisskala, etwa durch Ablesung der Ausschläge $\beta_0 = 5^0$ und $\beta_1 = 7^0$, ihr systematischer Fehler wie folgt:

Die wirkliche Bewegung der Zeigerspitze während der eigentlichen Messung ist, wenn man unter Vernachlässigung des Ausdruckes $t(1-\cos\chi)$ (vgl. oben)

$$x = w = r \cdot \sin\beta$$

setzt, proportional

$$\xi = \sin 7^0 - \sin 5^0 = 0{,}03471.$$

Infolge des systematischen Fehlers f_2 werden die Ausschläge aus der Nullage um 0,12% bzw. 0,25% zu groß abgelesen (vergl. Abb. 18). Der beobachtete Meßwert ist demnach proportional

$$\eta = 1{,}0025 \sin 7^0 - 1{,}0012 \sin 5^0 = 0{,}03491.$$

Der systematische Fehler dieser Messung beträgt also

$$f_2' = \frac{0{,}03491 - 0{,}03471}{0{,}03471} 100 = 0{,}6\,\%.$$

Das ist bei $2 \cdot 3 = 6$ Skalenteilen = 60 Schätzungseinheiten ein absoluter Fehler von

$$\frac{0{,}6}{100} 60 = 0{,}36 \text{ Schätzungseinheiten} = 12 \cdot 10^{-6} \text{ mm Dehnung.}$$

Diesem durch Ablesung an der Kreisskala entstehenden systematischen Fehler steht bei Verwendung einer parallel geteilten Skala ein entsprechend größerer Schätzungsfehler gegenüber.

VII.

Eichung des neuen Dehnungsmessers.

Die Eichung des neuen Dehnungsmessers erfolgte an einem Rundstab von 33 mm Durchmesser durch Vergleichsmessungen mit Martens-Spiegelapparaten von 20 und 15 cm Meßlänge[1]). Sie ergab für den Zeigerhebel der Abb. 9 eine 2130fache und für den Zeigerhebel der Abb. 14 eine 2080fache Übersetzung bzw. die Dehnungsbeiwerte für einen Skalenteil:

$0{,}328 \cdot 10^{-3}$ mm

und $0{,}336 \cdot 10^{-3}$ mm.

VIII.

Anwendungsbeispiel des Dehnungsmessers.

Als Beispiel für die Verwendung des in dieser Arbeit beschriebenen Dehnungsmessers soll die Spannungsermittelung für den sogenannten Hauptquerschnitt des in Abb. 12 und 19 dargestellten Zughakens mit rechteckigem Querschnitt wiedergegeben werden[2]) (vgl. S. 235).

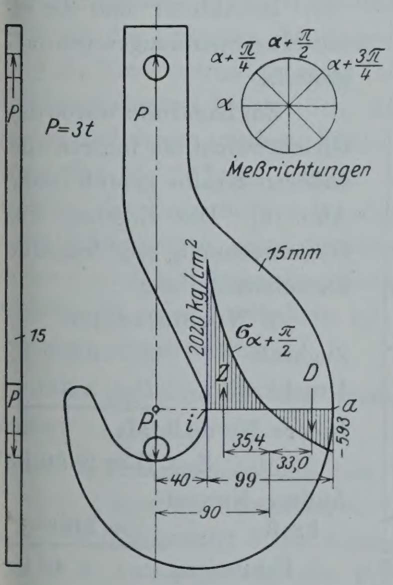


Abb. 19.

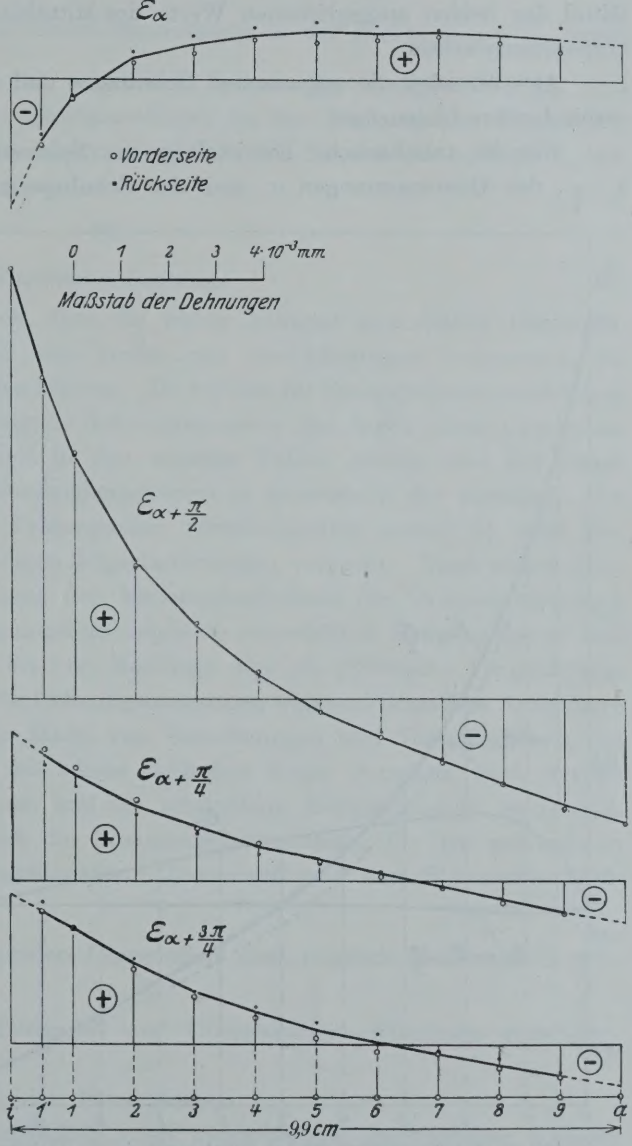


Abb. 20. Dehnungskurven für den Hauptquerschnitt des Zughakens.

[1]) Ein ausführlicher Bericht über die Eichversuche befindet sich in der Urschrift der Dissertation des Verfassers (Danzig 1927).

[2]) Ein ausführlicher Versuchsbericht und ein weiteres Eingehen auf die Ergebnisse der Spannungsermittlung, die sich über den ganzen Haken erstreckt, sollen im Zusammenhang in einer späteren Arbeit erfolgen.

Die Dehnungsmessungen erfolgten an beiden Oberflächen des Versuchskörpers in vier je um 45° gegeneinander geneigten Richtungen für Kreiselemente, deren Mittelpunkte im allgemeinen um 1 cm, am Innenrande um ½ cm auseinander liegen. (Bezeichnung der Punkte und Richtungen s. Abb. 19 und 20.)

Die Ablesungen wurden nach erfolgter Probebelastung, die zur Kontrolle des richtigen Einspielens des Dehnungsmessers diente, für die beiden Grenzlasten 0,5 und 3,5 t bei doppelter Wiederholung vorgenommen, so daß also 5 Ablesungen entstanden.

Die Mittel der gemessenen Dehnungswerte wurden mit Hilfe der Summenprobe $\left(\varepsilon_0 + \varepsilon_{\frac{\pi}{2}} = \varepsilon_{\frac{\pi}{4}} + \varepsilon_{\frac{3\pi}{4}}\right)$ und unter Beachtung des Kurvenverlaufes ausgeglichen und das Mittel der beiden ausgeglichenen Werte der Mittelebene des scheibenförmigen Versuchskörpers zugewiesen.

Abb. 20 zeigt die gemessenen Dehnungen und die die ausgeglichenen Mittelwerte verbindenden Linienzüge.

Für die tabellarische Ermittelung der Spannungen senkrecht zum Hauptschnitt $\sigma_{\alpha+\frac{\pi}{2}}$, der Querspannungen σ_α und der Schubspannungen τ_α wurden die Spannungsgleichungen in der für die Zahlenrechnung sehr bequemen Form verwendet, wie sie Wyss[1]) in seiner Dissertation entwickelt hat, unter Einführung der Werte

$$E = 2{,}08 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$$

(vgl. S. 27) und

$$m = \frac{10}{3}.$$

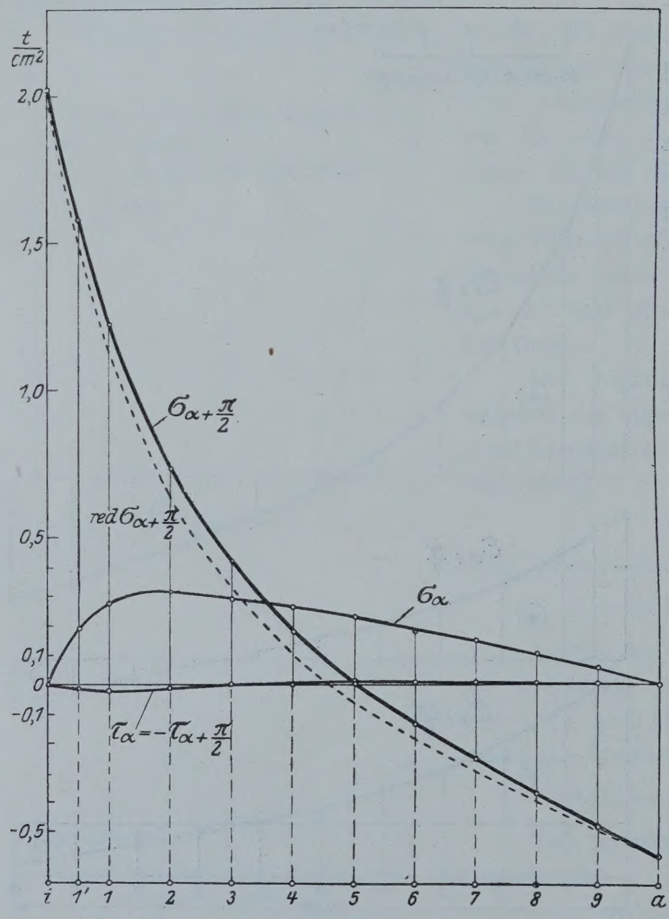


Abb. 21. Spannungskurven für den Hauptquerschnitt des Zughakens.

In Abb. 21 sind die ermittelten Spannungswerte dargestellt.

Zur Kontrolle wurde das Gleichgewicht der inneren und äußeren Kräfte geprüft (siehe Abb. 19). Das Ergebnis der Zahlenrechnung zeigt folgende Zusammenstellung:

1. Normalkräfte.

Zugkraft . . . $Z = 5260$ kg
Druckkraft . . $D = 2300$ „
Innere Normalkraft $Z - D = 2960$ kg
Äußere Normalkraft . . . . $= 3000$ „
Fehlbetrag 40 kg (1,3%)

2. Momente in bezug auf den Schwerpunkt des Querschnittes (s. Abb. 19).

Inneres Moment . . . $M_i = 5260 \cdot 3{,}54 + 2300 \cdot 3{,}3 = 26200$ cmkg
Äußeres Angriffsmoment $M_a = 3000 \cdot 9$ . . . . . . $= 27000$ „
Fehlbetrag 800 cmkg (3%)

[1]) Siehe Fußnote S. 118.

3. Querkräfte.

Die Summe der inneren Querkräfte beträgt rd. 5 kg, was zur strengen Erfüllung der Gleichgewichtsbedingung eine Neigung des untersuchten Schnittes zur Kraftachse um etwa $\frac{5}{3000} = 0{,}0017 =$ rd. $10'$ erfordert.

Zum Vergleich sind in Abb. 21 auch die reduzierten Spannungen red $\sigma_{\alpha+\frac{\pi}{2}}$ eingetragen, die den Dehnungen $\varepsilon_{\alpha+\frac{\pi}{2}}$ direkt proportional sind, also auch den gleichen Kurvencharakter wie diese haben.

Während der Verlauf der reduzierten Spannungen in der Richtung $\alpha + \frac{\pi}{2}$ (senkrecht zum Hauptquerschnitt) dem der wirklichen Spannungen noch ähnlich ist, sind die entsprechenden Kurven für die Querspannungen (in der Richtung des Hauptquerschnitts) grundverschieden, wie aus einem Vergleich der Kurven für ε_α und σ_α hervorgeht.

IX.
Zusammenfassung.

Nach einem kurzen Überblick über die bisher bekannt gewordenen Dehnungsmeßgeräte kleiner Meßlänge wird eine Reihe von Anforderungen besprochen, die an solche Instrumente gestellt werden können. Da bei den für Spannungsuntersuchungen an Bau- und Maschinenteilen benötigten Dehnungsmessern die durch einen physischen Zeiger ermöglichte Ablesegenauigkeit in den meisten Fällen genügt und der durch den optischen Zeiger erreichbare Genauigkeitsgewinn in Anbetracht der sonstigen, von der Art des Zeigers unabhängigen Fehlerquellen verhältnismäßig gering ist, wird eine Weiterentwickelung der doppelhebeligen Zeigerinstrumente versucht. Nach einem Hinweis auf die Ursachen der Begrenzung der Meßempfindlichkeit der Okhuizen-Apparate wird die Neukonstruktion eines Dehnungsfeinmeßgeräts von erhöhter Meßgenauigkeit und Leistungsfähigkeit beschrieben, das bei 1 cm Meßlänge eine rd. 2100fache Vergrößerung besitzt und dessen mittlerer Fehler für Dehnungsmessungen während desselben Anschlages etwa $20—25 \cdot 10^{-6}$ mm beträgt. An Hand von Berechnungen und Versuchsreihen, bei welchen das Instrument zeitweilig mit einem optischen Zeiger versehen wird, werden seine Fehlergrößen, seine Arbeitsweise und die erreichbare Meßgenauigkeit festgestellt. Sodann wird als Anwendungsbeispiel die Spannungsuntersuchung für den gefährdeten Querschnitt eines Lasthakens mit rechteckigem Querschnitt nach dem Wyssschen Meßverfahren durchgeführt.

In der Urschrift der vorliegenden Dissertation sind folgende Zahlentafeln enthalten:

Tafel 1. Zusammenstellung von Meßlängen und Übersetzungsverhältnissen mehrhebeliger Dehnungsmesser.
" 2. Zahlentafel 1 der vorliegenden Dissertation.
" 3. Ablesungen an der Fernrohrskala nach wiederholtem „schwachem" Klopfen des elektrischen Hammers.
" 4. Abhängigkeit der Ausschaltung der Bewegungswiderstände in den Gelenken von der Stärke der Erschütterungen.
" 5. Zahlentafel 2 der vorliegenden Dissertation.
" 6. Ermittlung des mittleren Ablesefehlers an der Zeigerskala. (Beispiel.)

Tafel 7. Ermittlung der Meßlänge.
„ 8. Systematischer Fehler.
„ 9. Eichvorversuch.
„ 10. Eichhauptversuch.
„ 11. Dehnungen beim Hauptquerschnitt des Hakens. (Vorderseite.)
„ 12. Dehnungen beim Hauptquerschnitt des Hakens. (Rückseite.)
„ 13. Spannungsermittlung aus den Dehnungen der Taf. 11 u. 12.

Zur Normalisierung im Mikroskopbau.

Von
Ingenieur **Carl John** in Cannstatt.

Man spricht, und zwar mit vollem Rechte, viel von der pekuniären Notlage der deutschen Wissenschaft. Jedem Wissenschaftler, jedem Institutsleiter sind die Schwierigkeiten, die sich der Anschaffung selbst dringend benötigter Instrumente, sei es, weil sie überhaupt noch nicht vorhanden sind, oder sei es, weil die vorhandenen durch langen Gebrauch abgenützt oder unmodern geworden sind, in den Weg stellen, bekannt genug und eine Quelle steten Verdrusses. Die in den Etat der Institute zu Neuanschaffungen eingestellten Mittel sind heute meist in gar keiner Weise ausreichend, und so muß eben oft genug auf die Indienststellung neuer oder Erneuerung alter Instrumente wohl oder übel verzichtet werden, nicht zum Vorteil deutscher Wissenschaft. Ein gewisser Ausweg könnte hier gefunden werden durch eine zielbewußte Normalisierung im Instrumentenbau, die ihrerseits zur Fabrikationsvereinfachung und damit zur Verbilligung führen könnte. Nun ist es ja freilich so, daß das wissenschaftliche Instrument eine weitgehende Normalisierung angesichts der verschiedenartigen Anwendungsgebiete wohl nicht verträgt. Immerhin glaube ich, daß sich besonders im Mikroskopbau etliche Teile sehr wohl vorteilhafter gestalten ließen, vorteilhafter zunächst für den Benützer, schließlich aber auch für die Hersteller.

Wenn man bedenkt, daß bereits einige, vorwiegend mechanische Einzelheiten unseres Instrumentes so ziemlich normalisiert wurden, ich denke hier zum Beispiel an die „normale“ Tubusweite, das englische Objektivgewinde, die wohl überall gleiche grobe Triebbewegung des Tubus und ähnlichem, die sich alle vorzüglich bewährt haben, so sollte man meinen, die herstellenden Firmen hätten den so verheißungsvoll beschrittenen Weg weiter verfolgt. Aber dies ist leider nicht der Fall. Jede der Firmen baut anders, jede hat Eigenarten, besser vielleicht gesagt Eigenbröteleien, die an sich vollkommen unnütz sind, an die Geldmittel der Wissenschaftler aber oft genug ganz unerschwingliche Anforderungen stellen. Warum soll der Gelehrte, der, sagen wir einmal, im Besitze eines Zeiss-Instrumentes ist, aber aus irgendeinem Grunde ein — immer beispielsweise — Leitzsches Nebeninstrument, einen Kreuztisch, einen Dunkelfeldkondensor oder Polarisationsapparat, benutzen will, gezwungen sein, sich nun auch ein Leitzsches Stativ anzuschaffen, dessen er gar nicht gebraucht und das außerdem erhebliche Geldmittel verschlingen würde, um so mehr, als unsere Fabriken ihre Instrumente meist nur mit der zugehörigen Optik abgeben, wenn eine einheitliche Dimensionierung ihm mit Leichtigkeit gestatten würde, die Spezialinstrumente der einen Firma ohne Schwierigkeit am schon vorhandenen Instrument einer anderen anzubringen. Wohl kann man unter Umständen eine Anpassung vornehmen lassen, aber auch dies ist mit nicht unerheblichen Kosten verknüpft, wobei ich noch ganz von dem lästigen Einsenden des Instrumentes schweigen will. Ohne Zweifel liegt es nicht an der opti-

schen Konstruktion der Instrumente, diese ließe sich mit Leichtigkeit so ausführen, daß das Erzeugnis der einen Firma auch an dem der anderen zu verwenden wäre, auch kann es nicht im mechanischen Teile liegen, denn immerhin handelt es sich hier meist nur um Millimetermaße in der Dimensionierung, die leicht auf eine gemeinsame Größe zu bringen wäre. Der Hauptgrund scheint mir im Fehlen eines gewissen Verständigungswillens bei den einzelnen Firmen zu liegen. Ich meine aber, was sich auf anderen Industriegebieten so leicht, weil als notwendig erkannt, einführte, sollte auch hier sich Eingang verschaffen können. Unsere mikroskopbauenden Firmen weisen mit Vorliebe und auch mit Recht auf die besonderen Qualitätsunterschiede hin, die ohne Zweifel zwischen den Erzeugnissen der einzelnen Firmen auch bestehen. Nun würden sich diese aber auch erhalten lassen, wenn die Instrumente nach vereinbarten Normalien erbaut würden. Es muß einmal gesagt werden, die chinesische Mauer, die hier sehr zum Schaden der Wissenschaft gezogen ist, sollte endlich einmal fallen. Ohne auf Vollständigkeit Anspruch zu machen, sollen nachstehende Ausführungen das Problem einheitlicherer Konstruktion der Mikroskoptypen beleuchten, vielleicht geben sie auch Anregung und Anstoß, daß sich unsere Firmen einmal damit befassen, den Mikroskopbau auf neuzeitlichere Basis zu stellen, im wohlverstandenen eigenen und Interesse des geplagten Wissenschaftlers.

Zunächst zum mechanischen Teil unseres Instrumentes. Die äußere Form desselben braucht von der Normalisierung schließlich nicht erfaßt zu werden, wenn auch hier eine gewisse Vereinheitlichung wünschenswert wäre. Aber die Dimensionierung sollte so sein, daß es ohne weiteres möglich wäre, die Hilfsinstrumente fremder Firmen am schon vorhandenen Instrument anzubringen. Man könnte vorschlagen, die schon eingeführte Einteilung des Beleuchtungsapparates in den großen, mittleren und kleineren beizubehalten, fernerhin die Stative nur noch mit drei verschiedenen Objekttischen, etwa den festen, viereckigen, den runden, drehbaren, und den großen, eingebauten Kreuztisch auszustatten, die Fassungen der Kondensoren, die Spiegel, die Revolver auf einheitliche Maße zu bringen, die Fassungen der Kondensoren einheitlich zu gestalten usw. Alles dies wäre leicht zu erreichen, die zweckmäßigen Maße ließen sich wohl leicht vereinbaren. Konstruktionsbesonderheiten der einzelnen Firmen, z. B. bei der Feinbewegung, blieben hierbei wohl unberührt, oder ließen sich leicht so gestalten, daß sie in den Rahmen der „Normalstative“ ohne weiteres hineinpassen würden. Wir sind doch gewöhnt, daß unsere hochentwickelte optische Industrie ganz anderer Schwierigkeiten Herr geworden ist, als der sich hier zweifelsohne zwar ergebenden, aber doch jedenfalls recht geringen. Mit den obengenannten drei Stativtypen wird man auf alle Fälle in der Praxis gut auskommen, einige Sonderkonstruktionen, etwa mikrophotographische oder binokulare Stative können ja trotzdem weitergebaut werden, nur ist eben auch bei diesen nach Möglichkeit auf Einheitlichkeit der Dimensionierung mit den Normaltypen zu sehen, was wohl nicht schwer sein wird. Bei alledem liegt das Hauptgewicht nicht auf Erstrebung gleicher Form der Einzelteile, als vielmehr auf der Möglichkeit, dieselben jederzeit und beliebig gegeneinander, unbekümmert um ihre Herkunft, austauschen zu können. Würde man sich hiermit einmal ernstlich beschäftigen, so käme man wohl auch auf etlichen, eigentlich unnützen Ballast, den unsere Instrumente immer noch, trotz ihrer Durchbildung, nachschleppen, und die ihre Herstellungskosten, die an sich schon hoch genug sind, nur unnötig steigern. Hier berühre ich übrigens die mineralogischen und mikrochemischen Instrumente, als eine Sonderform, nicht, obwohl das Gesagte mit einigen Einschränkungen wohl auch Geltung für sie hat.

Zu erstreben ist ferner die Einführung einer einheitlichen mechanischen Tubus-

Tabelle I. Achromatis

Zeiss				Leitz				Reichert				Winkel				Seibert		
Bez.	n. A.	F	Δ / F Obj.	Bez.	n. A.	F	Δ / F Obj.	Bez.	n. A.	F	Δ / F Obj.	Bez.	n. A.	F	Δ / F Obj.	Bez.	n. A.	F
				0	0,05	56	1											
				1*	0,08	42	2,7	00		69,4	2,3	00		47	2,2			
3		36	3	1	0,11	40	3,2	0		49,4	3,2	0		37	3,1	00	0,07	45
				1b	0,15	32	4,3	1a	0,17	41,0	4	1	0,15	30	4,7	0	0,11	36
5		25	5					1	0,17	26,6	4,6	1a	0,22	25	5,8			
6	0,17	23,5	6	2	0,21	24	5,8	2	0,17	27,9	4,6					1	0,22	25
8	0,20	18	8	3	0,25	16,2	10,3	3	0,28	16,1	10	2	0,28	16	9,9			
10	0,30	15,6	10									3a	0,40	12,6	12,2			
				3a	0,40	13	13,5					3	0,35	12,2	13,2			
												3*	0,30	11,8	13,3	2	0,26	12
20	0,40	8,3	20	4	0,40	10	19	4	0,43	9,6	16	4	0,42	9,5	17,7	3	0,35	8
												4a	0,58	8,5	18,6			
				5	0,64	5,4	33	5	0,65	4,6	34	5	0,60	5,5	31,1	4	0,60	6
				6 L	0,65	4,0	45					5a	0,75	6,0	27,5	5 L	0,65	4
40	0,65	4,4	40	6	0,85	4,0	45	6b	0,65	3,6	45	6	0,85	3,5	43,7	5	0,85	4
				7	0,85	3,0	62,5	7a	0,75	2,8	60	7	0,86	2,7	56,5	5 1/2	0,85	3
												7a	0,90	3,0	55,4			
								8a	0,82	2,3	71	8	0,90	2,4	73			
												9	0,90	1,8	91	6a	0,90	2

Tabelle II. Einta

A. Wa

6	0,11	24,7	6					P	0,10	30,4	7	W						
40	0,75	4,3	40	1/7 W	1,0	3,6	50					6,2	1,05	6,2	27,1			
90	1,18	2,0	90	10	1,20	2,1	90,6	10	1,12	2	87,6	W 2	1,15	2	80,0	7a b	1,09	1,5

B. Homo

				16	0,25	16	10											
				8	0,65	8	22											
50	0,85	3,5	50					15 1/8	1,0	2,7	74					1/7	0,95	3,45
								16b 1/10	1,24	2,7	76	2,2	1,0	2,2	76,1			
90	1,25	2,0	90	1/12	1,30	2,0	90	18b 1/12	1,30	1,8	101	1,8	1,3	1,8	91	1/12	1,3	1,8
								19b 1/16	1,30	1,5	128							

Tabe

a) Tro

40	0,85	4,4	40	6a	0,82	4,2	42	6a	0,81	4,0	44	13	0,38	13	12,3	5 fl.	0,65	4,0
60	0,90	2,9	60	7a	0,85	3,2	58,1					8,5	0,60	8,5	19,2			
				8	0,87	2,6	70	8a	0,85	2,9	66	4,5	0,85	4,5	37,3	5 1/2 fl.	0,85	3,0
90	0,90	2,0	90	9	0,87	2,2	85,2					3	0,90	3	55,2			

b) Homo

				1/7 a	0,95	3,45	54									1/7 fl.	0,95	3,45
				1/10 a	1,30	2,6	70											
100	1,3	1,8	100	1/12 a	1,32	1,95	95	18a 1/12	1,3	1,8	100	1,8	1,3	1,8	91,0	1/12 fl	1,32	1,8
				1/16	1,32	1,60	114					1,4	1,3	1,4	115,7	1/16 fl	1,32	1,5

kensysteme.

Himmler			Hartnack				Kremp				Busch				Voigtländer			
n. A.	F	$\frac{\Delta}{F \text{Obj.}}$	Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F \text{Obj.}}$	Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F \text{Obj.}}$	Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F \text{Obj.}}$	Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F \text{Obj.}}$
0,08	45	2,2	3	0,11	40	3	1	0,11	40	3,2					0	0,08	42	3,4
0,10	30	4																
															1	0,10	32	4,6
0,12	24	6	5	0,21	24	5	2	0,21	24	5,8	A_0	0,16	24,6	5,7	2	0,22	24	6,6
0,25	15	10,5	10	0,30	16,2	10	3	0,30	16,2	10,3	B_0	0,25	16	11,1	3	0,30	16	11,0
0,30	11	15																
			15	0,40	13	15					C_0	0,40	10,7	16,6	4	0,40	12	14,8
			20	0,47	10,0	20	4	0,47	10,0	18,2	D	0,42	7,6	23,7				
0,50	7,5	24	30	0,77	5,4	30	5	0,77	5,4	33,3								
															5	0,55	8	23,0
0,75	5	36	45	0,82	4,0	45	6	0,82	4,0	48,0	E	0,82	4,0	46,3	6	0,70	6	30,0
0,85	4	46	60	0,85	3,0	60	7	0,85	3,0	62,5	F	0,82	3,1	59,4	7	0,85	4	48,0
0,85	3	62																
0,85	2,5	72													8	0,90	3	64,0
0,90	2,1	88																

eme, achromatisch.

ersionen.

nmersionen.

1,3	2,4	80																
1,35	1,8	100	1/12	1,3	1,8	100	1/12	1,3	1,8	105	1/12	1,25	1,8	101,7	1/12	1,3	1,8	98
1,3	1,4	140													1/15	1/3	1,6	110

rit-Systeme.

eme.

0,85	4,5	39	45	0,82	4,2	45	6a	0,82	4,2	44,0
			60	0,85	3,2	60	7a	0,85	3,2	58,1
0,90	3,0	62	70	0,87	2,6	70	8	0,87	2,6	69,1
			85	0,87	2,2	85	9	0,87	2,2	85,2

mmersionen.

1,3	1,8	100	100F	1,32	1,8	100	1/12 a	1,32	1,8	98
			120F	1,32	1,6	120	1/16	1,32	1,6	114

Tabelle IV. Apochromate.

Zeiss				Leitz				Reichert				Winkel				Seibert			
Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F}$ Obj.	Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F}$ Obj.	Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F}$ Obj.	Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F}$ Obj.	Bez.	n. A.	F	$\frac{\Delta}{F}$ Ob
a) Trockensysteme																			
												40	—	40	3,1				
												24	0,20	24	5,6				
10	0,3	16,2	10	16	0,30	16	11,5	16	0,32	16	11,5	14	0,36	14	11,4	16	0,30	16	11,5
20	0,65	8,3	20	8	0,65	8	23,0	8	0,60	8	20	7	0,65	7	23,1	8	0,65	8	23,0
40	0,95	4,3	40	4	0,95	4	46	4	0,90	4	45	4	0,95	4	40,2	4	0,95	4	46
60	0,95	2,9	60	3	0,95	3	66	3	0,95	3	61,5	3	0,95	3	53,9	3	0,95	3	66
b) Öl-Immersionen																			
60	0,85	2,9	60																
60	1,3	2,9	60	3	1,32	3	65,0												
60	1,4	2,9	60	3	1,4	3	65,0												
90	1,3	2	90	2	1,32	2	92,0	2	1,33	2	96	2	1,3	2	79,5	2	1,32	2	92
90	1,4	2	90	2	1,4	2	92,0	2	1,4	2	96					2	1,4	2	92
120	1,3	1,5	120					1,5	1,3	1,5	124								
c) Wasser-Immersionen																			
70	1,25	2,5	70																

Tabelle V

Zeiss			Leitz			Reichert			Winkel			Seibert		
Bez.	F	$\frac{250}{F}$	Bez.	F	$\frac{250}{F}$	Bez.	F	$\frac{250}{F}$	Bez.	F	$\frac{250}{F}$	Bez.	F	$\frac{250}{F}$
A. Huyghenssc														
4	63	4	0	62,5	4	I	63	4	1	57	4,4	0	65	3,5
5	50	5	I	50	5	II	50	5	2	43	5,8	1	50	5
7	36	7	II	41,65	6	III	26	7				2	35	7
			III	31,25	8	IV	28	9	3	28,5	8,8	3	25	10
10	25	10	IV	25	10	V	19	13	4	21,5	11,6	4	17	14
15	17	15	V	20,85	12				5	14,5	17,2			
B. Kompensation														
3	83	3				3	83	3	1	51	4,9			
5	50	5				6	50	5	2	42	6,0			
7	36	7				8	31	8	3	34	7,4			
10	25	10				13	19	13	4	27	9,3			
15	17	15				17	15	17	5	22	11,4			
20	12,5	20				25	10	25	6	14,5	17,2			
									7	9,5	26,3			
C. Komplanatische, orthoskopisch														
			4	62,5	4							4	62,5	4
			5	50	5				1	57	4,4	5	50	5
			6	41,65	6				2	4,3	5,8	6	41,65	6
			8	31,25	8				3	28,5	8,8	8	31,25	8
			10	25,0	10				4	21,5	11,6	10	25	10
12,5	20	12,5	12	20,85	12							12	20,85	12
17	15	17	15	16,65	15	VI	13,5	15	5	14,5	17,2	15	16,65	15
			20	12,5	20	VII	11,5	22				20	12,5	20
28	9	28	25	10,0	25							25	10,0	25

länge, und damit die Abstimmung sämtlicher Optik auf die gewählte. Im allgemeinen ist ja diese bereits auf 170 mm festgelegt, nur einige wenige Firmen, wie Zeiss und Reichert, halten noch an einer Tubuslänge von 160 mm fest. Mit der Einführung einer Normal-Tubuslänge wäre auch die Höhe des Objektiv-Wechselapparates auf ein gemeinsames Maß zu bringen.

Um noch einmal zu wiederholen: Man baue drei Stativtypen, ein großes, mittleres und kleines, bringe sie auf gemeinsame Maße, und verfahre ebenso mit den Nebenapparaten. Es ist ganz besonders Wert auf die leichte Austauschbarkeit sämtlicher optischer und mechanischer Teile zu legen, soweit eine solche überhaupt möglich und notwendig ist. Diese Austauschbarkeit soll aber sich nicht nur auf die Typen einer einzelnen Firma beschränken, sondern alle Fabrikate umfassen. Die Konstruktionen, die die einzelnen Firmen für richtig halten, sollen dabei ganz unberührt bleiben, es handelt sich beim mechanischen Teil einzig um die Maßverhältnisse.

Ganz schlimm liegen die Dinge bei der optischen Ausrüstung unseres Instrumentes. Ich habe, um dem Leser einmal einen Überblick zu geben, die Objektive und Okulare unserer verschiedenen Firmen (ohne auf Vollständigkeit, die den Gesamteindruck noch verstärken dürfte, Anspruch zu machen) in Tabellenform nebeneinandergereiht. Vor allem der Mann der Praxis, und für diesen schließlich ist zu bauen, wird sagen müssen, daß die Überfülle an Erzeugnissen durchaus unnötig ist, und die In-

kulare.

Himmler			Hartnack			Kremp			Busch			Voigtländer		
ez.	F	$\frac{250}{F}$	Bez.	F	$\frac{250}{F}$	Bez.	F	$\frac{250}{F}$	Bez.	F	$\frac{250}{F}$	Bez.	F	$\frac{250}{F}$
kulare.														
1	50	5	4	62,5	4	0	62,5	4	5	50	5	0	50	5
2	41,65	6	5	50	5	I	50,0	5	6	41,7	6	1	45	5,5
3	31,25	8	6	41,65	6	II	41,65	6	7,5	33,3	7,5	2	33	7,5
4	25	10	8	31,25	8	III	31,25	8	10	25,0	10	3	27	9,2
5	17,85	14	10	25,0	10	IV	25,0	10	12	20,0	12	4	22	11,4
			12	20,85	12	V	20,85	12						
			16	12,35	16	VI	16,6	15						
kulare.														
			3	90	3	2	90	2,8						
4	45	5,6												
6	30	8,3	6	45	6	4	45	5,6				a	40	6,2
8	22,5	11,4	8	30	8	6	30	8,3				b	30	8,3
2	15	16,7	11	22,5	11	8	22,5	11,1				c	22	11,4
			17	15	17	12	15	16,7				d	15	16,7
8	10	25	25	10	25	18	10	25,0				e	10	25
riskopische und ähnliche Okulare.														
						6	41,65	6						
						8	31,25	8						
						10	25	10						
						16	15,0	16	17	14,7	17			
						25	10	25	25	10	25			

strumente nur unnütz verteuert. Aber auch der Wissenschaftler muß zugeben, daß vieles darunter ist, was er wohl kaum unbedingt nötig hätte, aber auf den Fabrikationsgang nur erschwerend wirkt, und die Gesamtherstellungskosten nur erhöht. Es ließen sich, bei einigem guten Willen, die Objektive sowohl als auch die Okulare um ein gutes Teil verringern, die übrigbleibenden würden wohl selbst für gewisse Spezialzwecke weitaus ausreichen. Es sei übrigens betont, daß diese Ausführungen durchaus keine Kritik an der Güte der Erzeugnisse sein können und sollen.

Zunächst die Objektive. Die starken, gegen unrichtige Deckglasdicke so empfindlichen Trockensysteme sollten endlich einmal nur mit Korrektionsfassung geliefert werden. Der nötige Mehraufwand ist nicht so bedeutend, als daß er sich durch die Zeit- und Müheersparnis, welche durch den Wegfall der so lästigen Auswahl passender Deckgläser ergibt, nicht bezahlt machte. Ferner sollte eine Objektivreihe festgelegt werden, die eine einheitliche Apertur- und Vergrößerungssteigerung enthält, und damit auch Brennweite, Objektabstand, Mikrometerweite usw. auf gemeinsame Zahlen bringt. Man wird, bei aufmerksamer Durchsicht der Tabellen, manches finden, was recht gut ausgemerzt werden könnte. Besonders die förderliche Vergrößerung der Objektive benötigt eine kräftige Korrektur, denn vielfach sind da die Abstände so klein, daß sie praktisch wertlos sind. Man muß sich vor Augen halten, daß die von den Firmen angegebenen Zahlen zwar nach Möglichkeit eingehalten werden, immerhin aber nur ungefähre Maße angeben. Bei so kleinen Schritten z. B., wie sie Winkel angibt, läßt sich praktisch die Vergrößerung durch passende Okularwahl so steigern, daß recht wohl einige Objektive aus seiner Reihe ausfallen dürften, ohne daß ihr Verlust fühlbar werden würde. Das Eintreten einer „leeren“ Vergrößerung ist praktisch nämlich an verhältnismäßig ziemlich weite Grenzen gebunden. Am vorteilhaftesten scheint mir die Hartnacksche Objektivreihe zu sein, sowohl in Beziehung auf Vergrößerungs- als auch Apertur- usw. Verhältnisse. Diese Trocken-Achromatenreihe dürfte wohl für alle praktischen Zwecke ausreichen (höchstens könnte man ihr noch ein ganz starkes Trockensystem beifügen) und eine geeignete Grundlage für eine Normal-Objektivreihe abgeben. Noch leichter ließe sich eine Übereinstimmung bei den Trockenfluoritsystemen herbeiführen. Die Tabelle zeigt, daß eine solche in gewissem Sinne sogar schon eingetreten ist, eigentlich fällt nur Winkel stark aus dem Rahmen.

Groß sind die Differenzen bei den Immersionen. Sowohl bei den Wasser-Eintauchsystemen, als auch bei den Achromaten und Fluoritobjektiven scheint mir die Zeisssche Reihe die beste zu sein und könnte als Vorbild der Normal-Objektivreihe mit Nutzen verwendet werden. Sie ist gut abgestuft und weist überdies äußerst günstige Apertur- usw. Verhältnisse auf. Wenn Leitz seine schwachen Ölimmersionen auch beibehält, so ist dies kein Schaden, wenn auch zu bedenken ist, daß diese ja für einen Spezialzweck gebaut werden, nämlich für Metalluntersuchungen, wenigstens vorwiegend bestimmt sind.

Die Spezialinstrumente des exakten Wissenschaftlers sind, wie bekannt, die Apochromate. Ihrer Sonderart entsprechend, fallen sie gewissermaßen aus dem Rahmen, könnten aber auch recht gut auf gemeinsame Werte gebracht werden, um so mehr, als es bis zu einem gewissen Grade, wie sich aus der Tabelle ergibt, schon geschehen ist. Immerhin soll an sie, die Spezialinstrumente, die Forderung an strikte Normalisierung, wie sie für Achromate und Fluoritsysteme, als dem Rüstzeug des Praktikers, gefordert werden sollte, nicht gestellt werden. Es soll den fünf Firmen überlassen bleiben, ob und wie weit sie einer gewissen Normalisierung auch der Apochromate nähertreten wollen.

Recht große Unterschiede bestehen bei den Okularen. Am besten scheinen hier die Leitzschen Serien zu sein, deren Vergrößerungsdifferenzen ja auch mit Hartnack und Kremp, wenigstens soweit die Huyghenschen Okulare in Betracht kommen, gut übereinstimmen, auch sind die Vergrößerungen, als Summen und Vielfache, gut gewählt und einprägsam. Die Kompensationsokulare haben hingegen bei jeder Firma andere Werte. Es wäre hier übrigens zu erwägen, ob die Kompensationsokulare nicht vorteilhaft überhaupt nicht mehr erzeugt würden, und von Okularen nach Art der Leitzschen Periplane oder Seibertschen Periskope ersetzt werden könnten. Jedenfalls sollte aber an sämtliche Okulare, mehr noch als an die Objektive, die Forderung nach Einheitlichkeit sämtlicher Fabrikate gestellt werden, bei ihnen ist sie besonders leicht zu erfüllen.

Es ist eigentlich merkwürdig, daß man auf den so naheliegenden Gedanken, im Mikroskopbau vereinheitlichend vorzugehen, noch nicht gekommen ist. Besonders jetzt, wo unsere bedeutendsten Firmen eine Interessengemeinschaft eingegangen sind, dürften doch die Schwierigkeiten keine so überwältigend großen mehr sein. Die Vorteile müssen doch jedem in die Augen fallen, denn ganz sicher unterbleibt mancher Kauf eines oft wertvollen Nebeninstrumentes, weil man bislang eben gezwungen war, gleichzeitig ein neues Stativ anzuschaffen, wenn das vorhandene etwa von einer anderen Firma stammt. Und die Entlastung der Fabrikation von oft gewiß unnötigem Ballast dürfte doch gewiß auch stark ins Gewicht fallen, und auf den Preis, damit aber auf den Absatz günstig einwirken. Vor allem aber hätte der Benutzer der Instrumente viele Vorteile, die ja aus dem Gesagten ohne weiteres hervorgehen.

Ich glaube sicher, daß etwa eine Kommission, aus Gelehrten, Praktikern und technischen Fachleuten bestehend, hier ein recht dankbares Arbeitsfeld finden dürfte, zum Vorteil deutscher Geistesarbeit. Haben diese Zeilen den Erfolg, eine Anregung zum Beschreiten des Weges, den sie weisen sollen, zu geben, so ist ihr Zweck vollauf erfüllt.

Beim Studium der Tabellen ist zu beachten, daß

Bez. = Bezeichnung des Objektivs resp. Okulars durch die Firma,

n. A. = numerische Apertur der Objektive,

F = Brennweite und

$\frac{\Delta}{F \mathrm{Obj.}}$ = Eigenvergrößerung der Objektive,

$\frac{250}{F}$ = Eigenvergrößerung der Okulare

bedeutet. Jedem aufmerksamen Leser wird ohne weiteres auffallen, daß eine gewisse Einheitlichkeit bereits zu bemerken ist, andererseits aber noch große Differenzen vorhanden sind, die leicht zu beseitigen wären. Mit Absicht sind positive Vorschläge zur Vereinheitlichung nicht gemacht worden, dies wäre Sache der einzusetzenden Normungskommission.

Zum Gedächtnis Eduard Dunckers.

Von

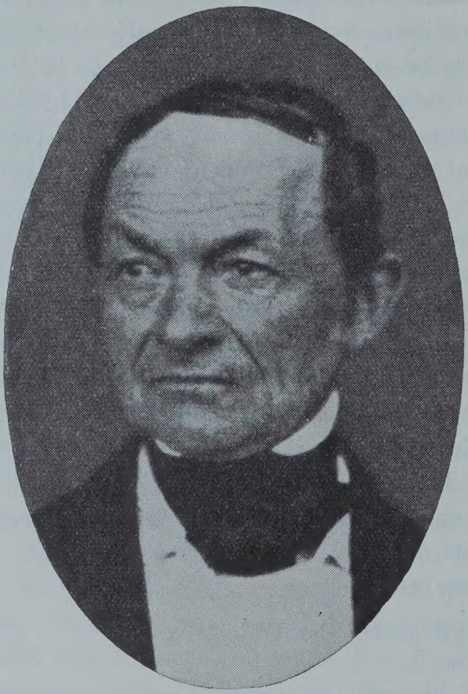
Dr. **Karl Albrecht** in Rathenow.

Am 13. Juni dieses Jahres kehrt zum 50. Mal der Tag wieder, an dem Eduard Duncker starb.

Als Nachfolger Johann Heinrich August Dunckers, seines Vaters, des Gründers der Rathenower Optischen Industrie-Anstalt, der heutigen Emil Busch A.-G., wirkte er in diesem Unternehmen, dessen Leitung in den Jahren 1820—1845 in seinen Händen lag.

Am 12. März 1797 war er in Rathenow geboren, ging im Jahre 1811 nach Berlin zum Zweck der kaufmännischen Ausbildung und kehrte nach Abschluß derselben 1815 nach Rathenow zurück, um hier neben seinem Vater in der Rathenower Optischen Industrie-Anstalt tätig zu sein. 1817 genügte er der Heeresdienstpflicht und war im Anschluß daran von 1818—1820 in Berlin als Kaufmann tätig. Die schwere Krankheit seines Vaters nötigte ihn, in diesem Jahre nach Rathenow zurückzukehren und hier im Alter von 23 Jahren die Leitung des von seinem Vater geschaffenen Werkes zu übernehmen. Über sein persönliches Leben wie auch über seine Tätigkeit als Leiter dieser Anstalt ist bisher verhältnismäßig wenig bekannt geworden. Er steht zwischen zwei Männern, dem Gründer August Duncker und dem Vollender Emil Busch, als einer, dessen Taten von dem Ruhm seines Vorgängers und Nachfolgers überstrahlt worden sind.

Man hatte sich damit abgefunden, seine Tätigkeit im wesentlichen zu bewerten als Erhaltung des Geschaffenen ohne viel eigene neue Schöpfung. Diese Auffassung ist meines Erachtens heute nicht mehr haltbar. Sie war im wesentlichen begründet in dem Mangel an Nachrichten, die wir bisher über Eduard Duncker hatten. Eingehende Quellenforschung jedoch läßt heute seine Tätigkeit in anderem Lichte erscheinen.



Eduard Duncker
um 1850.
Aufgenommen mit einem Objektiv (Petzvaltypus) von Emil Busch.

Was zunächst sein persönliches Leben betrifft, so wissen wir, daß er im Jahre 1824 Stadtverordneter wurde und in der Zeit von 1824—1834 neben der dam als immerhin noch bescheidenen Umfang aufweisenden Optischen Industrie-Anstalt eine der angesehensten Tuchwaren- und Materialwaren-Handlungen Rathenows leitete. Im Jahre 1822 beteiligte er sich bekanntlich erfolgreich an der Berliner Gewerbe-Ausstellung, ebenso im Jahre 1827 und 1844. Seit dem Jahre 1834 widmete er sich ausschließlich der wachsenden Umfang annehmenden Optischen Industrie-Anstalt.

Seine Schwester Jeannette war mit dem Berliner Kaufmann L. F. Busch verheiratet. Dieser siedelte im Jahre 1836 nach Rathenow über. In der Zeit von 1838 oder 39 bis 1844 war Eduard Duncker Ratsherr, etwa gleichzeitig Mitglied des Kirchenvorstandes, später wurde er zum Stadtältesten ernannt.

1840 tritt sein Neffe, Emil Busch, der Sohn Ludwig Friedrichs und Jeannettes in sein Unternehmen ein, nachdem Duncker ihm vorher eine sorgfältige kaufmännische und, soweit man damals davon sprechen konnte, wissenschaftliche Ausbildung hatte zuteil werden lassen.

1842 stirbt seine Schwester Jeannette, 1843 sein Vater, August Duncker, 1844 der alte Busch. Im gleichen Jahre scheidet Eduard Duncker auf eigenen Wunsch aus dem Magistrats-Kollegium aus und zieht sich 1845 vollkommen vom Geschäft zurück, das er nunmehr seinem Neffen, Emil Busch, überläßt.

Im gleichen Jahre errichtete er ein Testament, und es darf wohl angenommen werden, daß persönliche Lebenschicksale ihn veranlaßten, bereits um diese Zeit von aller öffentlichen Tätigkeit zurückzutreten. Freilich scheint es, daß diese Einstellung zu seinem Werk doch nur eine vorübergehende gewesen ist, denn Ende 1848 veröffentlicht er als „ehemaliger Besitzer der Königlich Privilegierten Optischen Industrie-Anstalt“ die sechste Auflage seiner „Belehrung über Brillen“, eine Schrift, die zweifellos auf die älteste unter dem gleichen Titel veröffentlichte Schrift seines Vaters zurückzuführen sein dürfte, und in dem Archiv der Emil Busch A.-G. befindet sich ein Exemplar dieses Heftes mit Korrekturen von der Hand Dunckers, welche darauf hindeuten, daß er im Jahre 1851 nochmals eine Neuauflage vorbereitete.

Seine weiteren Lebensschicksale sind im Augenblick noch unbekannt. Im Jahre 1878 ist er dann im hohen Alter von 81 Jahren gestorben, ein Alter, das von verschiedenen seiner Vorfahren erreicht, zum Teil sogar übertroffen wurde.

Als er im Jahre 1820 das Unternehmen übernahm, wurden etwa 15—20 Arbeiter beschäftigt, bei der Übergabe an Emil Busch am 1. April 1845 waren es 67 Arbeiter.

Im Jahre 1815 sind acht auswärtige Niederlagen belegt, einige weitere mögen damals bereits bestanden haben. Im Jahre 1845 wissen wir von Niederlagen in 300 verschiedenen Städten des In- und Auslandes, unter denen insbesondere zahlreiche Städte in Rußland auffallen. Im Jahre 1842 hatte Eduard Duncker eine Vertretung in New York und plante eine solche in Rio de Janeiro.

Der Ausbau der Absatzmöglichkeiten war seine Haupttätigkeit, und hier hat er zweifellos außerordentlich Bedeutungsvolles geleistet, über das an anderer Stelle in Verbindung mit Publikationen aus jetzt zugänglich gewordenem Quellen-Material eingehender berichtet werden soll[1]).

In fabrikatorischer Hinsicht widmete er sich dem Ausbau der Herstellung von Brillengläsern und Brillen-Fassungen und hat auch hier beachtliche Fortschritte erzielen können.

Sehr wesentlich ist auch seine Tätigkeit auf dem Gebiete der Wohlfahrtseinrichtungen. War schon die Gründung des Unternehmens bestimmt durch die Rücksicht auf das Gemeinwohl, so wirkte Eduard durchaus im Sinne seines Vaters weiter und krönte dieses Werk durch die Schaffung der mit eigener Rechts-Persönlichkeit ausgestatteten „Duncker-Busch-Stiftung“, welche durch den Magistrat der Stadt Rathenow verwaltet wird und alten verdienten Arbeitern des Busch-Werkes zugute kommt. In dem Statut dieser Stiftung befindet sich eine Bestimmung, die verdient, näher bekannt zu werden, da sie uns zeigt, daß Eduard Duncker, der in erster Linie als Kaufmann gewertet werden muß, doch darüberhinaus sehr wohl die Bedeutung der Wissenschaft für das optische Gewerbe erkannt hat. Er bestimmt in diesem Statut für den Fall, daß die Rathenower Optische Industrie-Anstalt, die heutige Emil Busch A.-G., aufgelöst und der Kreis der Unterstützungsberechtigten allmählich fortfallen würde, daß dann aus den Mitteln dieser Stiftung jungen Leuten, welche eine Universität oder eine andere wissenschaftliche Anstalt besuchen wollten, ein höchstens 4-jähriges Stipendium gewährt werden sollte, und der Vorzug sollte denen zuteil werden, die Mathematik, insbesondere aber Optik, studieren würden. Das Stipendium sollte jeder Preuße evangelischer Konfession erwerben können, doch sollten die in Rathenow Geborenen oder Bewerber, deren Eltern oder Voreltern aus Rathenow stammen, den Vorzug haben. Der niedere Stand solle vor dem höheren nicht bevorzugt werden,

[1]) Vgl. *D. Opt. Wochenschr.* ***1928.*** *Nr. 24 ff.*

wohl aber solle der Bedürftige dem weniger Bedürftigen, der Begabte dem weniger Begabten, der Fleißige dem weniger Fleißigen vorgezogen werden. Über die Zuerkennung sollten der Magistrat und der Leiter der höchsten in Rathenow bestehenden Schule entscheiden, wobei wegen der Abstellung auf Optik und Mathematik die Realschule dem Gymnasium vorangestellt werden sollte.

Diese Bestimmungen zeigen Eduard Duncker in einem durchaus neuen Lichte und ermöglichen einen Rückschluß auf die Art, wie Eduard Duncker sich der Ausbildung seines Nachfolgers, Emil Busch, angenommen hat. Wir dürfen Eduard Duncker das Verdienst zuerkennen, daß er nicht nur in großzügiger und geschickter Weise sich dem Ausbau der Absatzmöglichkeiten seines Werkes gewidmet hat, sondern daß er darüberhinaus den Anstoß und die Voraussetzung für eine wissenschaftliche Orientierung seines Werkes gegeben hat.

Referate.

Die Rechenmaschinen „Kuhrt“.

An Hand der Maschinen und Beschreibungen.

Die Aktiengesellschaft Deutsche Rechenmaschinen-Werke in Leipzig hat unter dem Namen „Kuhrt“ drei, im einzelnen mit „*A*“, „*AB*“ und „*US*“ bezeichnete Rechenmaschinen auf den Markt gebracht[1]). Die beiden Maschinen *A* und *AB* sind Sprossenradmaschinen — also im Grundgedanken Addiermaschinen — mit Tasteneinstellung; die Maschine *US* ist — wie die Moon-Hopkins-Maschine — eine eigentliche Multipliziermaschine mit Tasteneinstellung und Schreibvorrichtung. Die beiden Maschinen *A* und *AB* werden sowohl für Handantrieb allein als auch für elektrischen Antrieb und Handantrieb hergestellt; die Maschinen mit Handantrieb allein sind so gebaut, daß sie in einfacher Weise durch Ankoppelung der betreffenden Vorrichtung für elektrischen Antrieb eingerichtet werden können.

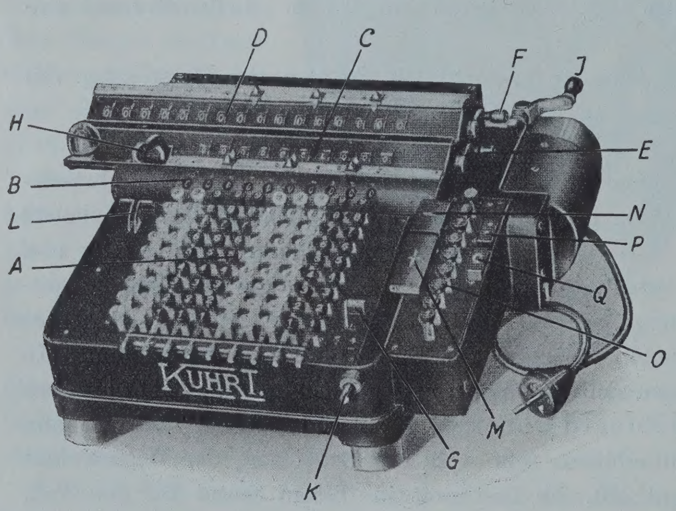


Abb. 1.

Die mit *AB* bezeichnete Maschine (Abb. 1) besteht aus dem Einstellwerk *A* mit einer Ablesemöglichkeit bei *B*, dem nicht mit Zehnerübertragung versehenen Umdrehungszählwerk *C* und dem Hauptzählwerk oder Resultatwerk *D*. Die Löschung der beiden Zählwerke *C* und *D* geschieht entweder gemeinsam oder getrennt mit Hilfe der beiden Kurbeln *E* und *F*. Die Löschung des Einstellwerkes *A* erfordert vor Ausführung der Rechnung die entsprechende Einstellung des Hebels *G*, der für Addieren und Subtrahieren rechts und für Multiplizieren und Dividieren links stehen muß; die Löschung erfolgt beim Addieren und Subtrahieren selbsttätig bei Ausführung der Rechnung und beim Multiplizieren und Dividieren durch Vorwärtsdrücken des Hebels *G*.

Die Vorwärtsbewegung des Schlittens mit den beiden Zählwerken *C* und *D* geschieht stellen-

[1]) Die gesamte Fabrikation der Deutschen Rechenmaschinen-Werke A. G. ist inzwischen von den bekannten Brunsviga-Maschinenwerke, Grimme, Natalis & Co. in Braunschweig erworben worden, von denen die Rechenmaschinen „Kuhrt“ in Zukunft hergestellt werden.

weise durch entsprechendes Andrücken der Taste H; drückt man diese nieder, so kann man den Schlitten um beliebig viele Stellen verschieben. Wird mit Handantrieb gerechnet, so muß die Kurbel J auf die Welle K gesteckt werden; beim Addieren und damit Multiplizieren wird die Kurbel im Uhrzeigersinn gedreht, beim Subtrahieren im entgegengesetzten Sinn. Im Vergleich zu anderen Sprossenradmaschinen hat die Maschine den Vorteil, daß beim Subtrahieren der Subtrahend und beim Dividieren durch Subtrahieren der Dividend unmittelbar, durch Drehen von kleinen Scheiben ziffernweise in dem Zählwerk D eingestellt werden kann.

In ähnlicher Weise wie die Nova-Brunsviga-Maschine ist die Maschine Kuhrt AB mit einer Vorrichtung versehen, mit deren Hilfe eine in dem Resultatwerk D stehende Zahl mechanisch in das Einstellwerk A übertragen werden kann. Diese Vorrichtung besteht aus den zwei Hebeln L Soll eine im Werk D stehende Zahl in das zuvor gelöschte Einstellwerk A übertragen werden, so wird der rechte der beiden Hebel nach vorn gezogen und wieder in seine Ruhelage gebracht; legt man dann den linken Hebel nach vorn, so ist die betreffende Zahl in der Tastatur unsichtbar, bei B aber sichtbar in dem Werk eingestellt. Legt man den linken Hebel zurück, so bleibt die Zahl in dem Werk A auch nach Löschung des Werkes D so lange unsichtbar eingestellt, bis der rechte Hebel L wieder nach vorn gezogen wird. Die Vorrichtung ist von Vorteil bei der Berechnung von Produkten mit mehr als zwei Faktoren.

Die durch die beiden Hebel L bedingte Vorrichtung stellt ein nicht sichtbares Aufspeicherungswerk vor und kann deshalb auch benutzt werden zur Berechnung von Ausdrücken von der Form

$$a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 + \cdots,$$

wobei außer den einzelnen Produkten sowohl die Zwischenergebnisse als auch das Endergebnis abgelesen werden können. Die Vorrichtung kann auch benutzt werden zur Berechnung von Ausdrücken von der Form

$$(a_1' b_1' + a_2' b_2' + \cdots) - (a_1'' b_1'' + a_2'' b_2'' + \cdots);$$

dies erfordert aber die Rechnung mit dekadischen Ergänzungen, die bei der Maschine in einfacher Weise mechanisch eingeführt werden können.

Die Nichtsichtbarkeit des Aufspeicherungswerkes setzt natürlich eine entsprechende Sicherheit in der Bedienung der Maschine voraus.

Soll bei der Maschine AB mit elektrischem Antrieb gerechnet werden, so muß die Kurbel J die in der Abbildung 1 angegebene Stellung haben. Beim Addieren wird die mit „+" bezeichnete Taste M und beim Subtrahieren die mit „—" bezeichnete Taste N benutzt. Die mit den Ziffern 1 bis 9 bezeichneten Tasten O sind die Multipliziertasten; die mit „:" und „C" bezeichneten Tasten P und Q dienen zum Dividieren. Die Tasten M, N, O, P und Q wirken je unmittelbar auf den Motor sie sind also Rechen- oder Antriebtasten.

Beim Multiplizieren werden nach Einstellung des Multiplikanden im Werk A den einzelnen Ziffern des Multiplikators entsprechend die Tasten O der Reihe nach gedrückt; die erforderlichen Verschiebungen des Schlittens mit den beiden Zählwerken C und D müssen von Hand mit Benutzung der Taste H ausgeführt werden.

Die Division wird als Subtraktion ausgeführt. Nach Einstellung des Dividenden im Werk D und des Divisors im Werk A wird bei entsprechender Schlittenstellung die Divisionstaste P so lange niedergedrückt, bis ein Glockenzeichen ertönt; wurde zu viel subtrahiert, so erfolgt die notwendige Addition entweder mit der Korrekturtaste Q oder mit der Additionstaste M. Die Schlittenverschiebungen müssen von Hand vorgenommen werden.

Die Benutzungsmöglichkeit des durch die beiden Hebel L äußerlich zum Ausdruck kommenden Übertragungs- und Aufspeicherungswerkes ist bei elektrischem Antrieb dieselbe wie bei Handantrieb.

Die mit A bezeichnete Maschine unterscheidet sich von der Maschine AB dadurch, daß be ihr die beiden Hebel L fehlen; die Maschine A besitzt also kein Aufspeicherungswerk.

Die beiden Maschinen Kuhrt A und Kuhrt AB werden in vier Größen gebaut; deren Stellenzahlen sind 8 — 8 — 13, 8 — 8 — 16, 10 — 10 — 13 und 10 — 10 — 16.

Die mit US bezeichnete Maschine (Abb. 2) ist eine Multipliziermaschine mit Tasteneinstellung; sie besteht aus dem Einstell- oder Multiplikandwerk A mit den Öffnungen B zum Ablesen der Einstellungen, den Multiplikatortasten C, dem Resultat- oder Produktwerk D und dem Quotientwerk E.

Die Löschung des Multiplikandwerkes A und des Multiplikatorwerkes C erfolgt mit Hilfe der Taste F; die beiden Werke D und E werden mit den Kurbeln G und H entweder getrennt oder gemeinsam gelöscht.

Vor Ausführung einer Rechnung ist jeweils eine der vier, den Grundrechnungsarten entsprechenden Tasten J anzudrücken. Die Rechnung geschieht bei Handantrieb durch Vorwärtsdrücken des Hebels K und bei elektrischem Antrieb durch Andrücken der Motortaste L. Die erforderlichen Verschiebungen des Schlittens mit den beiden Werken D und E werden mit Hilfe des Drehknopfes M ausgeführt. Die Maschine ist wie die mit AB bezeichnete Maschine mit einem Aufspeicherungswerk versehen, das mittels der beiden Hebel N bedient wird und in ähnlicher Weise wirkt wie dasjenige der Maschine AB.

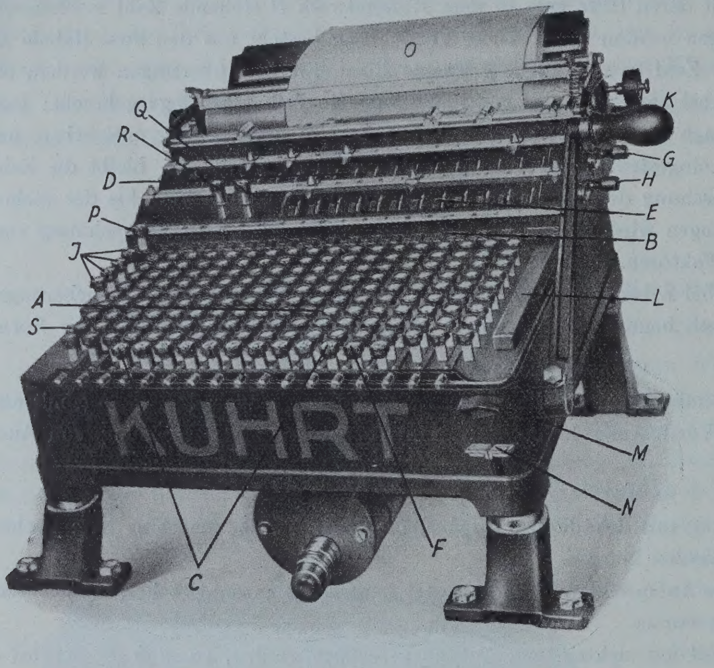


Abb. 2.

In das Schreibwerk O können Multiplikand, Multiplikator und Produkt übertragen werden; die Übertragung erfolgt mit Hilfe der Drucktasten P, Q und R.

Die Maschine US eignet sich besonders für die Multiplikation; dabei werden nach Einstellung der Multipliziertaste J und des Multiplikanden in dem Werk A der Reihe nach die einzelnen Ziffern des Multiplikators in dem Werk C eingestellt, wobei nach jeder Ziffereinstellung der Hebel K nach vorn gedrückt bzw. die Motortaste L angedrückt und der Schlitten mit dem Knopf M um eine Stelle weiterbewegt wird.

Die Maschine kann auch zum Dividieren benutzt werden; dabei kann der Dividend ziffernweise durch Drehen kleiner Scheiben unmittelbar in dem Werk D eingestellt werden. Für die Division ist noch eine Korrekturtaste S vorgesehen, so daß bei einer Überschätzung eine Umschaltung auf Multiplikation nicht notwendig ist.

Das mit der Maschine verbundene Aufspeicherungswerk ermöglicht die Berechnung von Ausdrücken von der Form $a_1 b_1 + a_2 b_2 + a_3 b_3 + \cdots$ sowie von der Form

$$(a_1' b_1' + a_2' b_2' + \cdots) - (a_1'' b_1'' + a_2'' b_2'' + \cdots).$$

Da mit Hilfe der Hebel N eine im Produktwerk D erscheinende Zahl mechanisch in das Multiplikandwerk A übertragen werden kann, so eignet sich die Maschine besonders auch zur Berechnung von Produkten mit mehr als zwei Faktoren.

Die Maschine „Kuhrt US" stellt einen beachtenswerten Fortschritt im Bau von reinen Multipliziermaschinen vor. *P. W.*

Über große, mit Rotoren ohne feste Achse erzeugte Winkelgeschwindigkeiten.

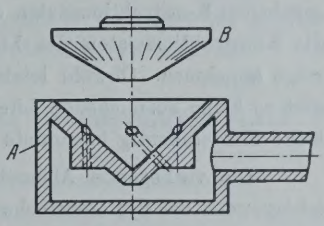
(Les grandes vitesses angulaires obtenues par les rotors sans axe solide.)

Von E. Henriot und E. Huguenard, *Journ. de Phys.* **8.** *S. 433—443. 1927.*

Die Verfasser haben versucht, hohe Winkelgeschwindigkeiten zu erzeugen. Es ist ihnen gelungen, mit verhältnismäßig einfachen Mitteln Rotationsgeschwindigkeiten bis zu der bisher für unmöglich gehaltenen Drehzahl von 11000 Umdrehungen pro Sekunde, d. h. 660000 pro Minute zu erreichen, ohne daß die Bewegung dabei unstabil wurde. Die mit dynamisch ungenügend aus-

gewuchteten Drehkörpern und starren Achsen bei hohen Drehzahlen zwangläufig verbundenen Schwierigkeiten vermeiden sie dadurch, daß sie ihren Drehkörper auf eine Gashaut lagern, der durch den Stator die geeignete Form gegeben ist. Durch die Gashaut übertragen sie zugleich die Energie. Sie gehen von der Tatsache aus, daß eine Kugel, die in die Senkung einer Platte gelegt wird, von einem in der Spitze der Senkung unter ausreichendem Überdruck ausströmenden Gasstrahl getragen wird. Der Abstand der Kugel von der Konuswandung beträgt dann nur Bruchteile eines Millimeters. Das gleiche gilt, wenn die konische Senkung nach unten offen ist und die Kugel genügend kräftig angesaugt wird. Dabei tritt eine Erscheinung ein, die dem Ergebnis eines von Clément und Desormes durchgeführten Versuches ähnelt. Diese beiden konnten, auf dem Bernoullischen Theorem fußend, nachweisen, daß zwei parallele Platten, deren eine eine zentrische Bohrung enthält, aus der komprimiertes Gas ausströmt, sich anziehen. Die Verfasser halten es für sehr wahrscheinlich, daß die Anziehung verstärkt wird, wenn der Gasstrahl von vornherein divergent gestaltet wird und turbulent ist. Das leuchtet ohne weiteres ein.

Wie die schematische Abbildung erkennen läßt, bildet ein mit einer konischen Senkung von 90 Grad Öffnung versehener Körper A den Stator des Apparates. In der Wandung der Trichtersenkung münden je nach Bedarf 4, 6, 8 oder mehr Düsen, aus denen die Preßluft oder hochgespannte Kohlensäure entweicht. Die Düsen liegen normal zur Konuskante und unter 45 Grad gegen die Berührungsebene geneigt in gleichen Abständen voneinander. Der Rotor B, ein Vollkegel etwas größerer Öffnung — etwa 100—120 Grad — ist auf seinem Mantel mit radial oder schraubenförmig verlaufenden Rillen versehen. Die zwischen den Rillen stehenbleibenden Rippen stellen dann Antriebsschaufeln dar, vermittels der der Kreiselrotor seine Antriebsenergie dem Preßluft oder Gasstrom entnimmt.



Die bereits erwähnte Drehzahl von 11 000 pro sec erzielten die Verfasser mit einem Rotor von 11,7 mm Durchmesser; dieser Drehzahl entspricht eine Lineargeschwindigkeit eines Peripheriepunktes von 404 m/sec. Dieses erstaunliche Ergebnis wird mit einem Überdruck des ausströmenden Gases von nur 3 kg/cm² erreicht. Ein Rotor von 45 mm Durchmesser lief 1300 m/sec, was eine Lineargeschwindigkeit an der Peripherie von 185 m/sec ergibt. Auf den kleineren Kreisel haben die Verfasser vertikalstehende Spiegel befestigt und mit dem so vervollkommneten Apparat Versuche zur Bestimmung der Lichtgeschwindigkeit begonnen, die Erfolg versprechen. Im Betrieb erwiesen sich schwerere Kreisel als sicherer und stabiler als leichtere. Die Verfasser haben gleichzeitig auch versucht, den Apparat zu einer Art Zentrifuge auszubilden. Mit einem Rotor von 72 mm Durchmesser auf den ein oben geschlossener flacher Hohlzylinder aufgesetzt war, bzw. der von vornherein mit einer zylindrischen Senkung versehen wurde, die durch eine Deckplatte verschlossen werden konnte, wurden 75 000—100 000 Umläufe pro Minute erreicht. Das bedeutet eine Beschleunigung an der Peripherie des Hohlraumes von 150 000—250 000 cm bei einem Gewicht des Körpers von 600—800 g.

Benutzt man dynamisch nur grob ausgewuchtete Rotoren, so läßt sich trotzdem ein sicherer Lauf erzielen, sofern man nur den Stator elastisch aufstellt. Die Gas- bzw. Preßlufthaut zwischen Rotor und Stator kann nämlich in Hinblick auf ihre minimale Dicke als relativ starres Lager angesehen werden, wenn auch jede unmittelbare Berührung zwischen beiden Teilen des Apparats fehlt. Bei elastischer Aufstellung des Stators, für die eine geeignete Ausführung angegeben wird, teilt die aus „hyperturbulenten" Gas- bzw. Luftfäden bestehende quasistarre Haut die Rotornutationen dem Stator mit, ohne daß eine Berührung beider eintritt. Diese Tatsache und die, daß die dünne Gashaut derartige Kräfte überträgt, sind bemerkenswerte Ergebnisse, die stärkstes Interesse beanspruchen.

Die Winkelgeschwindigkeit kann auf drei verschiedenen Wegen ermittelt werden. Man kann sie stroboskopisch bestimmen. Außerdem gestattet der Kreiselton sie mit Hilfe einer Normalgaltonpfeife akustisch festzustellen. Schließlich kann man sie auch aus dem Moment der Bewegungsgröße, die man mit Hilfe eines ballistischen Apparats mißt, und dem Trägheitsmoment ermitteln

Der Lauf des Rotors bleibt sehr stabil, sofern man nur dafür sorgt, daß die Nutation klein bleibt.

Auf weitere Versuche, die teils mitgeteilt, teils nur angedeutet werden, hier einzugehen, würde zu weit führen. Ref. ist der Ansicht, daß mit der so originellen wie einfachen und übersichtlichen Apparatur auch Studien über den Magnuseffekt angestellt werden können. Aus gewissen Bemerkungen der Verfasser muß darauf geschlossen werden, daß dieser Effekt in merklichem Grade auftritt. Aber auch an sich schon beanspruchen die interessanten Versuche besondere Beachtung.

W. Keil.

Anwendung der algebraischen Bildfehlergleichungen auf das optische Rechnen.

(Application of the algebraic aberration equations to optical design.)

Von I. C. Gardner. *Scient. Papers. Bur. Stand. Nr. 550. 1927.*

In der geometrischen Optik bestehen zwei Anwendungsmöglichkeiten der Bildfehlergleichungen, d. h. der bekannten Summenformeln für die Bildfehler. Zunächst das direkte Problem, aus den gegebenen Konstruktionsdaten des Linsensystems die Bildfehler zu berechnen. Dann aber vor allem, die Konstruktionsdaten des Linsensystems so zu bestimmen, daß die Bildfehler vorgegebene Beträge annehmen. Obwohl letzteres Problem für die praktische Optik außerordentlich wichtig ist, gibt es keine ausreichende Literatur hierüber. Vor allem ist bisher an keiner Stelle Wert auf einfache und eindeutig bestimmte Bezeichnungsart sowie Vorzeichenkonvention gelegt worden.

Die vorliegende Abhandlung will diese Lücke zum Teil ausfüllen und zugleich als Nachschlagewerk bei Systemberechnungen dienen. Die experimentelle Messung der Bildfehler wird nicht mitgeteilt. Die Bildfehlergleichungen werden in solcher Weise dargestellt, daß sie direkt auf die Linsenberechnung angewandt werden können. Das Büchlein beschränkt sich auf die rein geometrisch. optischen Vorstellungen, läßt Beugungsprobleme, Auflösungsvermögen und verwandte Fragestellungen ganz außer acht. Ableitungen der Gleichungen werden nicht mitgeteilt, ebensowenig ihre physikalische Interpretation. Beabsichtigt ist nur die Herausgabe eines kurz gefaßten Handbuchs, welches über die Konstruktion von Systemen dünner Linsen auf Grund der Theorie der Fehler dritter Ordnung informieren soll. Es wird also lediglich jener Teil der rechnenden Optik behandelt, der in der optischen Industrie als Vorrechnung bewertet wird.

In der Theorie der Bildfehler dritter Ordnung bestehen zwei Richtungen nebeneinander, die sich durch die Wahl der Rechengrößen unterscheiden. Die kontinentale Richtung gründet sich auf den Arbeiten von Schwarzschild, von Rohr und Southall. Das Taylorsche System wurde von Coddington eingeführt und von Taylor ausgebaut. Beide Richtungen laufen in der vorliegenden Abhandlung nebeneinander her. Die Bezeichnungsweise ist von Schwarzschild und v. Rohr übernommen. Die Vorzeichenwahl lehnt sich an die allgemein übliche Konvention an.

Die Gaußschen Abbildungsgleichungen sind nur soweit angeführt, als zum Verständnis für die Seidelsche Theorie notwendig ist. Die Bildfehlergleichungen und die beschreibende Darstellung der Bildfehler werden für eine einfache Linse gegeben, dann werden die Gleichungen auf Systeme dünner Linsen angewandt. Es folgt eine allgemeine Diskussion über die Kontrolle der Aberrationen eines optischen Systems mit zwei numerischen Beispielen. Im ersten Beispiel werden die Bildfehler eines Ramsdenschen Okulars bestimmt. Im zweiten Beispiel wird ein Kellnersches Okular mit vorgegebenen Bildfehlern berechnet. Letzteres Beispiel wird ziemlich ausführlich behandelt, um die Bedeutung der Vorrechnung klarzulegen. Es folgen sodann die Bildfehlergleichungen dritter Ordnung für dicke Platten oder Reflexionsprismen, sowie deren Anwendung auf die Konstruktion optischer Systeme, in welchen außer dünnen Linsen auch Reflexionsprismen oder planparallele Platten vorkommen.

Dem Hauptteil schließen sich Anhänge an. In diesen werden die Bezeichnungsweise und Vorzeichenwahl nach Taylor, die Seidelschen Fehlergleichungen, Konstruktionszeichnungen der wichtigsten Prismenarten und eine Tabelle der n-Funktionen, wie sie in den Summengleichungen vorkommen, zwischen $n = 1{,}4$ und $n = 1{,}75$ gegeben.

Flügge.

Die Analyse eines Interferogramms.

(The analysis of an interferogram.)

Von R. Kingslake, *Transact. Opt. Soc.* **28.** *S. 1—20. 1926—27.*

Es ist häufig angenommen worden, es wäre möglich, die von einer Linse aufgenommenen Interferometerbildchen mathematisch auszuwerten, um aus den Koeffizienten der x- und y-Glieder verschiedener Ordnung ein Maß für die Aberrationen zu erhalten. x und y sind hier die Koordinaten eines Punktes auf dem Interferogramm, dessen optischer Gangunterschied gegen den Zentralstrahl der Linse durch Abzählen der Streifen sofort bekannt ist. Vorausgesetzt, daß die tatsächlichen Aberrationsbeträge ausreichend groß im Vergleich zu der Toleranz sind, daß in der Achsenbestimmung von x und y genügend Sorgfalt aufgewendet wurde, und daß die Annahme, es liegen nur primäre Aberrationen vor, zutreffe, würde es möglich sein, Aberrationen bis auf 1 oder 2 Prozent genau zu messen, sofern das Instrument tadellos ist. Um auszuschließen, daß die instrumentell bedingten Fehler die Versuchsfehler überschreiten, dürfen die Spiegel keine Fehler größer als 0,01 Wellenlängen hineinbringen. Unglücklicherweise ist dies schwerlich in der Praxis einzuhalten, weil Flächen, Versilberung, Homogenität der halbversilberten Platte, Luftunruhe, elastische Durchbiegungen des Montagegerüstes usw. alle viel größere Fehler verursachen. Die Ergebnisse weichen trotz größter Vorsicht daher auch von den Resultaten nach der Hartmannschen Methode erheblich ab.

Flügge.

Eine exakte Methode zur Bestimmung der Lage des Brennpunktes eines optischen Systems.

(An accurate method of ascertaining the position of the focal point of an optical system.)

Von Conrad Beck, *Transact. Opt. Soc.* **28.** *S. 37—42. 1926—27.*

Es wird eine einfache und recht genaue Methode beschrieben, um die Brennpunktslagen der verschiedenen Zonen von Mikroskopobjektiven zu bestimmen. Sie besteht hauptsächlich darin, daß hinter dem zu prüfenden Objektiv eine Blende mit zwei schlitzförmigen Öffnungen angebracht wird, die zueinander unter rechtem Winkel gerichtet sind. Man sucht nun diejenige Stelle auf der Achse, wo die Bilder ein symmetrisches Kreuz bilden. *Flügge.*

Über den Einfluß künstlichen Tageslichtes und des Lichtes gewöhnlicher Nitralampen auf das Auge.

(Note on the relative comfort in reading by artificia ldaylight and unmodified gasfilled tungsten lamps.)

Von J. G. Priest. *Journ. Opt. Soc. Am.* **15.** *S. 131. 1927.*

Bekanntlich haben die Glühlampenfabriken in den letzten Jahren als neue Lampentype Nitralampen mit blauer Kobaltglashülle auf den Markt gebracht. Diese Lampen besitzen, je nach der Dichte der Glashülle, eine Farbtemperatur von 5000° bis 9000° abs. gegenüber einer Farbtemperatur von 2600° bis 3000° abs. der gewöhnlichen Nitralampen.

Die vorliegende Arbeit stellt das Material über die Frage zusammen, ob — gleiche Beleuchtungsstärke vorausgesetzt — die Lampen mit höherer Farbtemperatur das Auge weniger ermüden wie die gewöhnlichen Nitralampen. Das Material besteht nur aus Einzelbeobachtungen mit Ausnahme einer umfangreicheren physiologischen Arbeit von Ferree und Rand, die gezeigt haben, daß Sehschärfe und Unterscheidungsgeschwindigkeit für künstliches Tageslicht bedeutend höher sind wie für das Licht gewöhnlicher Nitralampen.

Es scheint zwar so, daß tatsächlich das künstliche Tageslicht speziell für Lesen und Schreiben von Vorteil ist; jedoch hält auch Priest weitere Untersuchungen zur Klärung der Frage für dringend notwendig. *Dz.*

Beitrag zur Frage der Glasreflexion.

(Contribution à l'étude de la réflexion vitreuse.)

Von Paul Amy. *Revue d'Opt.* **6.** *S. 305—315. 1927.*

In der vorliegenden Arbeit wird untersucht, ob der Reflexionskoeffizient eines Glases tatsächlich der Fresnelschen Formel gehorcht oder ob Oberflächenveränderungen des Glases den Wert des Reflexionskoeffizienten beeinflussen. Es wird die Intensität eines Lichtbüschels nach erfolgter Reflexion mit derjenigen vor der Reflexion verglichen. Um das photometrische Entfernungs-

gesetz zu eliminieren, wird parallel gerichtetes Licht benutzt. Das reflektierende Glasmaterial wurde in Prismenform verwendet, wobei die Reflexion an der einen Fläche erfolgte, die beiden anderen Flächen lenkten das von ihnen reflektierte Licht, das nur stören würde, seitlich ab. Das Photometer besaß eine Graukeileinstellung. Ein frisch poliertes Glas ergab den Reflexionskoeffizienten 0,0430 im Mittel und hätte nach der Fresnelschen Formel 0,0429 haben müssen; also Übereinstimmung. Dagegen zeigte ein älteres Glas geringere Reflexion (0,0332 statt 0,0518). Übereinstimmend zeigt sich in mehreren Untersuchungen an verschiedenen Gläsern, daß bei künstlicher Alterung durch Behandlung mit Ammoniumsulfat der Reflexionskoeffizient auf einen Minimalwert etwa gleich zwei Drittel seines ursprünglichen Wertes herabging. Merkwürdig jedoch ist die Tatsache, daß bei längerer Einwirkung der Alterungssubstanz die Reflexion wieder etwas zunahm. Durch gleichzeitige Untersuchungen des durch einen Glasplattensatz hindurchgegangenen Lichts wird gezeigt, daß die Reflexionsverminderung eine entsprechende Durchlässigkeitserhöhung im Gefolge hat. Weiterhin ergibt sich, daß die chemische Veränderung einer Glasfläche zwar den Reflexionskoeffizienten stark beeinflußt, aber auf den Polarisationszustand des reflektierten Lichts nur innerhalb der Fehlergrenzen der Untersuchungsmethode einwirkt. *Flügge.*

Über das von einem Plattensatz durchgelassene und reflektierte Licht.

(On the light transmitted and reflected by a pile of plates.)

Von T. Smith, *Transact. Opt. Soc.* **27.** *S. 317—323. 1925—26.*

Die photometrischen Eigenschaften einer Reihe von Medien oder eines Plattensatzes, welche Licht absorbieren und zerstreuen und deren Trennungsschichten gleichfalls absorbieren und zerstreuen sowie Licht durchlassen und reflektieren, werden unter der Annahme untersucht, daß diese Faktoren von der Lichtfortpflanzungsrichtung unabhängig sind. Dabei ergeben sich folgende Sätze: a) Das Verhältnis der Durchlässigkeitsfaktoren eines Plattensatzes für entgegengesetzte Einfallsrichtungen ist unabhängig von den Reflexionseigenschaften der Trennungsflächen und von der Anordnung der Platten. b) Die Durchlässigkeitsfaktoren sind in den entgegengesetzten Richtungen gleich, wenn die einzelnen Durchlässigkeits- und Absorptionsfaktoren für beide Lichtbündel dieselben sind. c) Die Verhältnisse des reflexionslos durchgelassenen Lichtes zu dem durchgelassenen Gesamtlicht sind in den entgegengesetzten Richtungen gleich. d) Die Reflexionseigenschaften des Satzes hängen von sämtlichen Faktoren des Systems ab, und das Verhältnis der Reflexionsfaktoren für die entgegengesetzten Lichtrichtungen ist nicht unabhängig von der Anordnung der Platten. Für nichtabsorbierende Systeme gilt ferner noch folgender Satz: e) Die Summe der Intensitäten von reflektiertem und durchgelassenem Licht ist gleich der Intensität des einfallenden Lichtes, und das Verhältnis der reflektierten zu der durchgelassenen Intensität ist gleich der Summe der entsprechenden Verhältnisse für die zusammengestellten Platten oder Flächen des Satzes. Solch ein Satz bildet insofern eine Ausnahme gegenüber der Regel d), als die Reflexionskoeffizienten von der Anordnung der Platten abhängen. *Flügge.*

Über das Exnersche Polarimeter und eine Anwendungsart dieses Instrumentes.

Von Otto Tomaschek. *Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien, math.-nat. Kl., Abt. IIa.* **134.** *S. 317—323. 1925.*

Das Exnersche Polarimeter unterscheidet sich von dem Cornuschen dadurch, daß für das Wollastonsche Prisma und den Nikol je eine feste Skala vorhanden ist, während beim Cornuschen Polarimeter die beiden Prismen sowohl gemeinsam als auch einzeln drehbar sind, wobei die zwei zugehörigen Zeiger auf derselben Winkelskala spielen. Die Verwendung von zwei Skalen bedeutet zur Elimination von Beobachtungsfehlern einen nicht zu unterschätzenden Vorteil. Es folgt sodann eine Beschreibung über die Anwendung des Exnerschen Polarimeters zur Untersuchung des Polarisationsgrades des an spiegelnden Kristallflächen reflektierten Lichts. *Flügge.*

Vergleichung der Deformation von Glas und geschmolzenem Quarz unter der Einwirkung von Temperaturänderungen.

(Déformation comparée du verre et de la silice fondue sous l'influence des variations de température.)

Von Albert Arnulf. *Revue d'Opt.* **6.** *S. 315—327. 1927.*

Interferentiell werden die thermischen Deformationen zweier runder parallelflächiger identischer Proben aus gewöhnlichem Kronglas und geschmolzenem Quarz verglichen. Es wird fest-

gestellt, daß letzterer sich etwa 50 mal weniger als Kron deformiert, wenn man unter gleichartigen Bedingungen identische Wärmequellen auf beide Substanzen einwirken läßt. Sodann werden die Interferenzstreifen studiert, welche zwischen den beiden Endflächen von Glas- und Quarzplättchen entstehen. Die rechnerische Auswertung zeigt, daß für ein und dieselbe Temperaturänderung beider Materialien die durch die thermische Ausdehnung und die thermische Änderung des Brechungsindex verursachte Veränderung der Interferenzenordnung für Kron und Quarz fast genau dieselbe ist. Wenn man dagegen die Plättchen unter gleichen Bedingungen der Einwirkung identischer Wärmequellen unterwirft, läßt sich feststellen, daß die Änderung der Streifenzahl für den geschmolzenen Quarz weit geringer ist, was seinen Grund in der großen Wärmeleitfähigkeit des letzteren hat. Geschmolzener Quarz ist demnach das einzige Material, welches Spiegel zu konstruieren gestattet, die scharfen Temperaturänderungen gegenüber gänzlich unempfindlich sind. *Flügge.*

Die Charakterisierung der Gläser durch ihre elektromotorischen Eigenschaften.

Von Karl Horovitz. *Sitz.-Ber. Akad. Wiss. Wien. Mat.-nat. Kl. Abt. IIa.* ***134.*** *S. 335—354. 1927.*

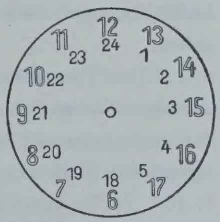
Aus Messungen der elektrischen Phasengrenzkraft an Bleigläsern verschiedenen Bleigehalts und verschiedener Leitfähigkeit folgte, daß alle diese Gläser sich für den gesamten Bereich der H-Ionenkonzentration wie eine H-Elektrode verhalten.

Es ergeben sich Änderungen der elektromotorischen Kraft, wenn Metallkationen zugesetzt werden, und zwar infolge Änderung der H-Ionenaktivität durch Elektrolytzusatz. Bestätigend verhalten sich dazu Bleinitratlösungen, was aus kolorimetrischen Messungen hervorgeht. Versuche an dem schlecht leitenden Schottschen Glas *T* 222 zeigen, daß die Leitfähigkeit nicht direkt mit der Ausbildung der H-Elektrodenfunktion zusammenhängt. Verwendet man KOH an Stelle von NaOH, so sind die elektromotorischen Kräfte der Säure-Alkalikette bei diesem Kaliglase manchmal kleiner, höchstens gleich denen bei Verwendung von NaOH, während die früher untersuchten Na-reichen Schottschen Gläser sich entgegengesetzt verhielten. Um Glaskombinationen in einer solchen Form herzustellen, daß die Messung der elektrischen Phasengrenzkraft der Kombination möglich ist, werden entweder Deckgläser der einen Sorte an Röhren der anderen Glassorte im elektrischen Ofen angeschmolzen, oder Kölbchen, die aus beiden Glassorten bestehen, vor dem Gebläse geblasen. Ist die eine Glasschicht so dünn, daß ihr Widerstand als klein gegen den der anderen Glassorte anzunehmen ist, so ist nur die dünne Schicht potentialbestimmend. Das ermöglicht eine Messung der Elektrodenfunktion auch an den Gläsern, die nicht in Röhrenform erhältlich sind. *Flügge.*

Die Vierundzwanzigstundenuhr mit Tages- und Nachtzifferblatt.

Von Baumgart. *Deutsche Uhrmacherztg.* ***52.*** *S. 118—120. 1928.*

Die Einführung der Vierundzwanzigstundenzählung durch die Deutsche Reichsbahn hat verschiedene Vorschläge für die Anordnung der Zifferblätter gezeitigt. Der Verfasser schlägt die in der Abbildung dargestellte Form vor: die Tagesstunden 6—17 außen, die Nachtstunden 18—5 innen, tunlichst durch rote bzw. schwarze Farbe gekennzeichnet.



Die oben genannte Quelle macht darauf aufmerksam, daß ein französisches Patent aus dem Jahre 1912 einen ähnlichen Vorschlag enthält. Dort sind die Zahlen I—XII und 13—24 in den Typen unterschieden und VI—17 im Außenkreis schwarz auf weißem Grund, 18—V innen weiß auf schwarzem Grunde dargestellt.

Eine neue Uhr aus der Badischen Kunstgewerbeschule in Pforzheim benutzt durchweg arabische Zahlen und zwar 1—12 außen, 13—24 innen. Dafür tragen der äußere linke Halbkreis und der innere rechte Halbkreis schwarze Zahlen auf hellem Grund, während die Ergänzungshalbkreise den umgekehrten Kontrast zeigen. *G.*

Bücherbesprechungen.

Ch. Fabry, *Introduction générale à la photometrie. Encyclopédie photométrique, première section I.* 8⁰. VIII, 178 S. mit 50 Fig. Verlag der *Revue d'Optique,* Paris 1927. Geb. 27 Fr.

Das vorliegende Buch ist der erste Band des ersten Abschnitts einer großzügig angelegten, sieben Abteilungen mit insgesamt 27 Bänden umfassenden photometrischen Enzyklopädie; hierbei sollen auch die Messungen im Ultravioletten und Ultraroten unter den Begriff Photometrie fallen.

Der vorliegende erste Band des ersten Abschnitts behandelt, wie schon der Titel besagt, das allgemein Vorauszusetzende (Begriff der Strahlung, Plancksches Gesetz, Photometrische Einheiten, Mechanisches Lichtäquivalent, Polarisation, Grundbegriffe der Kolorimetrie usw.).

Die Darstellung ist anregend und dabei wissenschaftlich exakt in jeder Beziehung; es nimmt dies nicht wunder, wenn man sich der hervorragenden Mitarbeit des Verfassers auf dem Gebiet der photometrischen Nomenklatur erinnert.

Hinzuweisen wäre noch darauf, daß die Behandlung der Lichteinheitsfrage auf Seite 32 der Bedeutung und dem derzeitigen Stande der Frage Hefnerkerze — Internationale Kerze nicht genügend gerecht wird. *Dz.*

Elis Strömgren und **Bengt Strömgren,** Zweite Sammlung astronomischer Miniaturen. 8⁰. IV, 154 S. m. 41 Abb., 2 Stereoskopbildern u. 1 Tafel. Julius Springer, Berlin 1927. 6,60 RM.

Dem in *dieser Zeitschrift* ***43.*** *S. 144. 1923* besprochenen Band astronomischer Miniaturen folgt jetzt eine zweite, der populären Astronomie gewidmete Sammlung von Aufsätzen, von denen drei Bengt Strömgren verfaßt hat. Einer begeisterten Schilderung des Zeissschen Planetariums und Erörterungen über das Zweikörperproblem und über das spezifische Gewicht der Sterne von Elis Strömgren folgt eine Darlegung über die lichtelektrische Methode zur Bestimmung der Örter von Fixsternen von Bengt Strömgren, der auch die Betrachtungen über das Licht als Energieform und über den Bau der Sterne beigesteuert hat. Aus Elis Strömgrens Feder stammen ferner die Kapitel: Vom Gnomon zum Meridiankreis, Störungen in den Bewegungen der Himmelskörper, Reiserouten im Weltenraum, die Bewegungsmöglichkeiten in kugelförmigen Sternhaufen und Erinnerungen von einer Amerikareise.

Dem Leserkreis unserer Zeitschrift sei das Buch als geistreiche Lektüre wie der erste Band warm empfohlen. Auf die beigegebenen wohlgelungenen Stereoskopbilder der Bahn des periodischen Kometen Winnecke sowie der unserer Erde nächsten Sterne sei besonders hingewiesen. *G.*

Arbeiten zur Luftnavigierung. Herausgegeben vom Navigierungsausschuß der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Luftfahrt. 8⁰. 63 S. mit 72 Abb. u. 3 Tafeln. München, Berlin 1927. R. Oldenburg, geb. 6,50 RM.

Das kleine Buch, das Beiträge aus der Feder von Boykow, Everling und Koppe enthält, versucht es, einen Überblick zu geben über einige der wichtigsten Aufgaben der Navigation von Luftfahrzeugen und über die bisher verwendeten Methoden und Apparate zur Lösung dieser Aufgaben.

Die Themata: „Platzorientierung im Luftfahrzeug bei Nacht" und die „Probleme der terrestrischen Navigation im Luftfahrzeug" werden von Boykow behandelt. Es werden aber nur Methoden und Apparate besprochen, die in der Praxis Eingang gefunden haben, so daß interessante Versuche, wie z. B. die in Amerika mit einem neuen Grundgeschwindigkeitsmesser (*diese Zeitschr.* ***47.*** *S. 105. 1927*) unerwähnt bleiben müssen, ebenso wie noch nicht abgeschlossene Versuche über die Orientierungsmethoden, die sich der Funktelegraphie bedienen. Ein für Amundsen konstruierter Kurs- und Geschwindigkeitssucher, den der Verfasser angegeben hat, bedeutet einen bemerkenswerten Fortschritt im Sinne der Vereinfachung der Luftnavigation.

Neigungs- und Wendezeiger bespricht Everling. Die Schwierigkeiten der hier vorliegenden Probleme können, wie der Verfasser nachdrücklich feststellt, nie restlos beseitigt werden, da es unmöglich ist, mit mechanischen Mitteln die wahre Neigung im Flugzeug zu ermitteln. Die besprochenen Instrumente beweisen, daß man in Deutschland mit Erfolg versucht hat, für den praktischen Gebrauch geeignete Geräte zu entwickeln, die es gestatten, unter Benutzung der Eigenschaften des Kreisels, die Lage des Flugzeugs zum Schwerefeld wenigstens angenähert festzustellen. Unter den

beschriebenen Geräten verdient der neue luftangetriebene Wendezeiger der Askania-Werke A.-G. besondere Beachtung. Ein Umstand, der die Einbürgerung der bisher noch nicht überbotenen und wichtigen Kreiselneigungsmesser erschwert, ist der, daß die Vielheit ihrer charakteristischen Anzeigen Denkarbeit vom Piloten verlangt; im entscheidenden Augenblick kann daher die Hilfe, die das Instrument ihm geben soll, illusorisch werden. Eine Vereinfachung der Anzeige, eine Anzeige, auf die der Pilot reflektorisch reagiert, wird den Kreiselgeräten eine große Zukunft bringen.

Die Höhenmessung in der Luftnavigation wird von Koppe behandelt. Da die Beherrschung der dritten Dimension die Lebensfrage der Luftfahrt bedeutet, sind sehr zahlreiche Methoden und Geräte zur Ermittlung der augenblicklichen Flughöhe im Luftfahrzeug entwickelt worden. In dem allgemeinen Rahmen wird zum ersten Male die mit dem Behmschen Echolot arbeitende akustische Methode diskutiert. Ihre Brauchbarkeit beschränkt sich zunächst noch auf die bodennahen Luftschichten. Ungeklärt ist noch, ob sie dann, wenn in Bodennähe eine Inversion liegt, noch befriedigt, ebenso ist es fraglich, ob die elektrischen Verfahren, die noch in Entwicklung begriffen sind, den an sie gestellten Erwartungen entsprechen werden. Der Höhenmessung, die auf Druckmessung beruht, die, soweit sie die Instrumente betrifft, noch sehr verbesserungsfähig ist, kommt nach wie vor die größte Bedeutung zu. Alles in allem sagt der Aufsatz nichts wesentlich neues, faßt aber das Vorhandene in dankenswerter Weise zu einem lehrreichen Überblick zusammen. Allerdings hätte der ärodynamische Fachbegriff: „Luftwichte“ in dem Zusammenhang, wenn er überhaupt am Platze ist, einer näheren Erläuterung bedurft. Der wissenschaftliche Charakter des Aufsatzes wird an einigen Stellen durch die gewählte Ausdrucksweise gefährdet, wenn nicht beeinträchtigt.

Der Gesamteindruck von dem Buche ist der, daß das im Vorwort gestellte Ziel weitgehend erreicht worden ist. Daß viele Probleme noch ihrer restlosen praktischen Lösung harren, liegt nicht an mangelhafter Forschung, sondern ist auf die Schwierigkeiten des Objekts an sich zurückzuführen.

W. Keil.

H. Bongards, Feuchtigkeitsmessung. 8°. VIII, 322 S. mit 126 Abb. und 2 Taf. München-Berlin 1926, R. Oldenbourg. Geb. 19 RM.

Angeregt durch zahlreiche Anfragen aus der Industrie, die an ihn gelangten, hat es der Verfasser unternommen, in systematisch zusammenfassender Darstellung ein Handbuch der Feuchtigkeitsmessung zu schaffen. Er hat dazu eine weit zerstreute, sehr zahlreiche Literatur gesichtet und bearbeitet, um einen möglichst vollständigen Überblick über das heute vor allem für viele Zweige der Industrie sehr wichtige Gebiet der Meßtechnik zu geben. Ein Schriftennachweis am Schluß des Buches, der volle sieben Seiten umfaßt, gibt über den Umfang der bearbeiteten Literatur und über die sicherlich sehr mühevolle Bearbeitung derselben Auskunft. Darüber hinaus enthält das Buch aber auch wertvolle neue Gedanken in Einrichtungen und Apparaten, die der Verfasser selbst entwickelt hat.

Die Erläuterung der gebräuchlichsten Verfahren und die Beschreibung der zu ihrer Anwendung erforderlichen Apparaturen steht im Vordergrund der Darstellung. Aber es finden auch ältere Versuche Berücksichtigung.

Für ausführliche theoretische Entwicklungen ist naturgemäß in einem Handbuch, das für den Praktiker bestimmt ist, kein Raum; das wird aber nicht als ein Mangel empfunden werden können, zumal das Ziel, zur Anwendung der gegebenen Verfahren und zur erfolgreichen Benutzung der beschriebenen Meßgeräte und Einrichtungen anzuleiten, durch die eingehende und kritische Darstellungsweise in weitgehendem Maße erreicht wird.

Der Verfasser beginnt sein Werk mit einem Kapitel, in dem er die Physik der Gase und Dämpfe behandelt. Wenn auch eine strenge Ableitung des physikalischen Gesetze, auf denen die Feuchtigkeitsmessung beruht, ohne das Rüstzeug der höheren Mathematik und ohne eingehende theoretische Überlegungen nicht möglich ist, so finden sich die auf ihnen beruhenden Tatsachen in sehr anschaulicher Weise und klar aneinander gereiht. Hierzu trägt wesentlich bei, daß vielfach die übersichtlichen Vorstellungen der kinetischen Gastheorie herangezogen werden.

Auf dem so gewonnenen Fundament wird dann das eigentliche Problem der Feuchtigkeitsmessung behandelt. Der Verfasser gliedert den Stoff nach dem Typus der Meßverfahren in fünf Abschnitte. Im ersten werden die sogenannten Absorptionsmethoden besprochen. Eignen sie sich

auch in erster Linie für die Anwendung im Laboratorium, so läßt ihre Zahl doch erkennen, welch Bedeutung auch dort der Feuchtigkeitsmessung zukommt. Bei einer Neuauflage könnte vielleich noch die Methode der Absorptionstürmchen nach Obermiller, die sich zu absoluten Messungen nac neueren Untersuchungen von R. Ebert[1]) als sehr geeignet erwiesen hat, Erwähnung finden.

Die Sättigungsverfahren sind anscheinend deshalb weniger beliebt, weil zur vollkommene Sättigung der Luft erhebliche Schwierigkeiten zu überwinden sind. Immerhin hat ihre geringe Za neuerdings in dem von L. Behr[2]) angegebenen Verfahren eine sehr beachtenswerte Vermehrun erfahren.

Größerer Beliebtheit erfreuen sich dagegen die Methoden, bei denen der Wasserdampf tei weise verflüssigt wird, insbesondere die Verfahren der Taupunktsbestimmung. Auf diesem Gebie hat sich der Verfasser selbst konstruktiv betätigt.

Ebenso finden die Meßverfahren, die die Feuchtigkeit aus der Menge der verdunsteten Flüssig keit zu ermitteln gestatten, verbreitete Anwendung; besonders bevorzugt werden sie in der Meteoro logie. Das hierher gehörende Aßmannsche Aspirationspsychrometer hat wohl mit dem Haarhygro meter, das im nächsten Kapitel mit den Verfahren beschrieben wird, die hygroskopische Eigen schaften von Körpern zur Bestimmung der Feuchtigkeit zu benutzen, die größte Verbreitung gefunden

Ausführlich beschäftigt sich der Verfasser auch mit experimentellen Untersuchungen über di hyproskopischen Eigenschaften des Haares.

Zweifellos wird sein Buch auch im physikalischen Laboratorium viel Beachtung finden. Den beansprucht dort auch die Feuchtigkeit nur mittelbare Bedeutung, so ist sie doch in vielen Fälle durchaus nicht zu vernachlässigen. Es würde hier zu weit führen, ausführlicher auf die Fülle de vom Verfasser zu einem einheitlichen Ganzen verarbeiteten Materials einzugehen. Das Erscheine seines Buches wird in weiten Kreisen sicherlich sehr begrüßt werden. *W. Keil.*

Das Luftbildwesen auf der Ila 1928.

Gelegentlich der Internationalen Luftfahrtausstellung in Berlin im Oktober 1928 ist beal sichtigt, das Luftbildwesen in einer besonderen geschlossenen Abteilung zu zeigen. Im Einvernehme mit dem Veranstalter der Ila 1928, dem Reichsverband der Deutschen Luftfahrtindustrie, wird d Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie die Bearbeitung übernehmen.

Gezeigt werden soll das technische Gerät, d. h. die verschiedenen Apparate für die Aufnahm sowie für die weitere Verarbeitung der Bilder: Entzerrungsgeräte und Auswerteinstrumente für d Luftbildmessung. Eine Darstellung der für diese Apparate verwendeten Optik ist gleichfalls seh wünschenswert. Die Arbeitsergebnisse in Einzelaufnahmen, Raumbildern, Luftbildplänen, Karten un Reliefs sollen die verschiedenen Verfahren und Anwendungsmöglichkeiten für die Zwecke der Lande aufnahme und für Wirtschaftsaufgaben veranschaulichen. Hierzu kommen die Hilfsgeräte für d Aufnahme (Aufhängegestelle, Überdeckungsregler, Abtriftmesser) und ferner das photographisch Material in Filtern, Platten, Filmen, Papieren, Entwicklungsgeräten, Kopier- und Reproduktion apparaten u. dergl. Eine rege Beteiligung des Auslandes ist sehr zu begrüßen, um ein umfassend Bild von dem Stande des Luftbildwesens in allen Ländern zu gewinnen, Anregungen für die weite Ausgestaltung zu erhalten und die große kulturelle Bedeutung für die verschiedenen Gebiete d Wirtschaft, Technik und Wissenschaft zu kennzeichnen.

Es wird gebeten, den Schriftwechsel in der Angelegenheit der Luftbildausstellung an Dr. I Ewald unter der Anschrift: „Bildstelle des Pr. Ministeriums für Handel und Gewerbe, Berlin W Leipziger Str. 2“ zu richten.

---

[1]) *Physikal. Zeitschr.* **27.** *S. 867. 1926;* Referat in *dieser Zeitschr.* **47.** *S. 372. 1927.*

[2]) *Journ. of Opt. Soc. of Am.* **12.** *S. 623—653. 1926;* Referat in *dieser Zeitschr.* **47.** *S. 162. 19*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **Juli 1928.** Siebentes Heft.

Über Sinusbedingung, Kosinusrelation, Isoplanasie und Homöoplanasiebedingung, ihren Zusammenhang mit energetischen Überlegungen und ihre Ableitung aus dem Fermatschen Gesetz[1]).

Von
M. Herzberger in Jena.

Einleitung.

Bei der Durchrechnung z. B. eines photographischen Objektivs, über dessen Güte man sich Rechenschaft ablegen will, verfährt man im allgemeinen wie folgt: man rechnet drei Strahlen eines achsenparallelen Bündels durch das optische System durch. Hierdurch bekommt man einen Überblick über das Aussehen der Bildkaustik, die einem unendlich fernen Achsenpunkte entspricht. Außerdem rechnet man noch für mindestens zwei Winkel ein paralleles Strahlenbündel (fünf oder mehr Strahlen) durch und bestimmt annähernd die den unendlich fernen seitlichen Punkten entsprechenden tangentialen Bildkaustiken. Durch astigmatische Durchrechnung einzelner dieser Strahlen kann man dann noch einen gewissen Einblick in die Lage der sagittalen Kaustiken bekommen.

Was hier hervorgehoben werden soll, ist nur, daß diese Rechnungsmethoden einen Überblick über die einem Objektpunkt entsprechenden kaustischen Flächen geben, indem man von diesem Objektpunkt ausgehende Strahlen durch das System durchrechnet. Eine ganz andere Bedeutung hat die sogenannte Sinusbedingung. Ihre Bedeutung ist leicht anzugeben, wenn alle achsenparallelen Strahlen sich in einem Punkt schneiden, d. h. wenn keine sphärische Abweichung vorhanden ist. Dann ist ihre Erfüllung eine notwendige, und mit gewissen später zu erörternden Einschränkungen auch hinreichende Bedingung dafür, daß auch die Nachbarpunkte eines achsensenkrechten Flächenelements eine punktförmige Bildkaustik haben; und zwar bilden die Bildpunkte wieder ein achsensenkrechtes Flächenelement.

Ist die sphärische Abweichung für den Achsenpunkt nicht gehoben, so verliert die Sinusbedingung ihre Bedeutung. Lihotzky und Staeble (1)[2]) haben jedoch 1919 gleichzeitig gezeigt, daß hier eine andere Relation, die dort als Isoplanasiebedingung bezeichnet wurde, an die Stelle tritt. Ist die Isoplanasiebedingung, die eigentlich nichts weiter fordert, als daß die Abweichung von der Sinusbedingung proportional der sphärischen Abweichung sein soll, erfüllt, so kann man auch hier wieder eine Aussage über die Kaustiken machen, die objektseitig den Nachbarpunkten eines achsensenkrechten Flächenelements entsprechen.

[1]) Die Untersuchung, deren Ergebnisse nachstehend veröffentlicht werden, ist von mir, teilweise in Gemeinschaft mit Dr. Lihotzky, Anfang 1927 durchgeführt worden. Für die Form der Darstellung trage ich die alleinige Verantwortung.

[2]) Siehe Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit.

Für die außeraxialen Punkten entsprechenden Kaustiken ist zuerst die sogenannte Kosinusrelation zu nennen, die bei punktförmiger Abbildung eines außeraxialen Punktes die notwendige und mit Einschränkung auch hinreichende Bedingung dafür ist, daß ein benachbarter Punkt noch punktförmig abgebildet wird. Thiesen (1), Bruns (1), Ignatowski (1) und Boegehold (1) haben dieses Gesetz unabhängig voneinander aufgestellt.

Dann wäre zu nennen die Homöoplanasiebedingung von Dr. Lihotzky und Verf., die für den Fall, daß die dem Objektpunkt entsprechende Kaustik rotationssymmetrisch ist, die notwendige und mit Einschränkung hinreichende Bedingung dafür darstellt, daß auch einem benachbarten Punkt noch eine rotationssymmetrische Kaustik entspricht.

Zuletzt noch der Satz von T. Smith (1) und (2)[1], der — allerdings für eine dreifach unendliche Strahlenmannigfaltigkeit — besagt, daß bei beliebiger Bildkaustik die Erfüllung der Kosinusrelation notwendig und mit Einschränkung hinreichend dafür ist, daß einem Nachbarpunkt eine kongruente Kaustik entspricht, die aus der ersten durch Parallelverschiebung hervorgeht.

Alle diese Gesetze haben das gemeinsam, daß sie durch Durchrechnung der Strahlen, die von einem Punkte ausgehen, Auskunft geben über die Abbildung der Nachbarpunkte. Da über Gültigkeitsbereich und Anwendbarkeit all dieser Gesetze noch Unklarheit herrscht (ist doch z. B. nicht einmal über die Frage der Möglichkeit, eine achsensenkrechte Ebene punktförmig durch ein zentriertes optisches System abzubilden, völlige Klarheit erzielt), will Verfasser an dieser Stelle einmal versuchen, den ganzen Fragenkomplex in Zusammenhang zu behandeln. Es wird sich unter anderm zeigen, daß die Kosinusrelation wie die Homöoplanasiebedingung integrabel sind, so daß die Frage nach der Möglichkeit einer gleichmäßigen Abbildung einer endlichen Fläche zu bejahen ist. Damit erhält man die Gesetze für eine Art idealer Abbildung. Diese Abbildung ist im Gegensatz zur kollinearen Abbildung mit energetischen Gesetzen verträglich, also nicht wie diese prinzipiell unmöglich.

Kapitel I.

Die Straubelschen Sätze.

1. Die Sätze für das räumliche Bündel.

Auf der 74. Naturforscher-Versammlung 1902 in Karlsbad hat Prof. Straubel (1) einige Sätze vorgetragen, von deren erstem wir an dieser Stelle ausgehen wollen.

Gegeben sei ein Flächenelement df_1 (Abb. 1) um den Punkt P_1, von jedem seiner Punkte gehe ein infinitesimaler Strahlenkegel aus, dessen Raumwinkel die Größe $d\Omega_1$ habe, und dessen Achse mit der Flächennormale unseres Elements den Winkel ϑ_1 bilde. Wir schneiden die vom Punkte P_1 ausgehende Strahlenmannigfaltigkeit irgendwo durch eine Fläche; sei df_2 der Flächeninhalt dieses Schnittes, sei ϑ_2 der Winkel, den die Strahlen mit der Flächennormale bilden, und sei $d\Omega_2$ der Kugelwinkel, den die Gesamtheit aller Strahlen erfüllt, die von einem festen Punkte des zweiten Elements zu allen Punkten des ersten hinführen, also der Winkel, unter dem das erste Flächenelement von einem Punkt des zweiten erscheint, dann gilt

$$n_1^2 \cos\vartheta_1 \, df_1 \, d\Omega_1 = n_2^2 \cos\vartheta_2 \, df_2 \, d\Omega_2, \qquad 1)$$

wo n_1 bzw. n_2 die Brechungsexponenten der Medien bedeuten, in die die beiden Flächenelemente eingebettet sind.

[1]) Siehe hierzu Herzberger (1) und (2).

Um den obigen Satz zu beweisen, braucht man nur zweierlei zu zeigen:

1. $n^2 \cos\vartheta\, df\, d\Omega$ bleibt innerhalb eines Mediums konstant,

2. $n^2 \cos\vartheta\, df\, d\Omega$ bleibt bei der Brechung konstant.

Beweis von Teil 1. Gegeben seien zwei in dasselbe Medium eingebettete Flächenelemente df_1 und df_2 (Abb. 1). Der Hauptstrahl bildet mit den Flächennormalen den Winkel ϑ_1 bzw. ϑ_2. Sei $d\Omega_1$ der Winkel, unter dem das zweite Flächenelement von einem Punkte des ersten erscheint, analog $d\Omega_2$; sei r die Entfernung der beiden Flächenelemente, dann ist bekanntlich

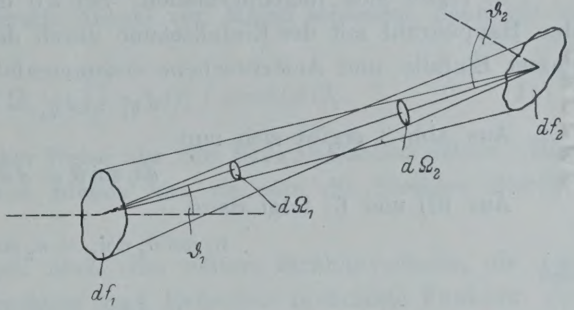


Abb. 1.
Gegenseitiges Strahlen zweier Flächenelemente im gleichen Medium.

$$\left.\begin{aligned} \cos\vartheta_1\, df_1 &= r^2\, d\Omega_2\,, \\ \cos\vartheta_2\, df_2 &= r^2\, d\Omega_1\,, \end{aligned}\right\} \qquad 2)$$

also

$$n_{12}^2 \cos\vartheta_1\, df_1\, d\Omega_1 = n_{12}^2 \cos\vartheta_2\, df_2\, d\Omega_2\,, \qquad 3)$$

da ja in unserm Fall

$$n_1 = n_2 = n_{12} \qquad 4)$$

ist.

Beweis von Teil 2. Wir betrachten ein Element df der brechenden Fläche, die zwei Medien vom Brechungsexponenten n_1 bzw. n_2 trennt (Abb. 2). Von jedem Punkt des Flächenelements gehe in das erste Medium ein Strahlenkegel mit dem Öffnungswinkel $d\,\Omega$, das ihm entsprechende gebrochene Bündel habe den Öffnungswinkel $d\,\Omega'$. Der Hauptstrahl bilde vor bzw. nach der Brechung mit der Flächennormale einen Winkel

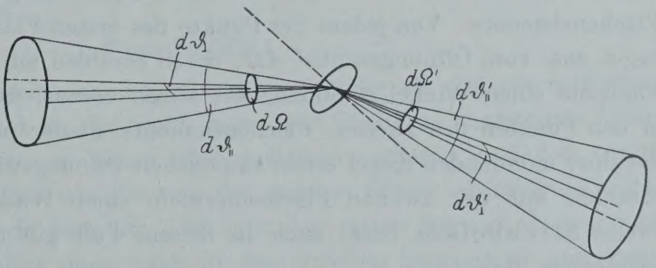


Abb. 2. Brechung eines dünnen Strahlenbündels.

$$\vartheta_1 \text{ bzw. } \vartheta_1'.$$

Nun ist

$$d\,\Omega = d\vartheta_{\|}\, d\vartheta_{\perp}\,, \qquad 5)$$

wo $d\vartheta_{\|}$ den Winkel bedeutet, den der einfallende Strahlenkegel aus der Einfallsebene herausschneidet, $d\vartheta_{\perp}$ den Winkel, den der Kegel aus der dazu senkrechten Ebene herausschneidet.

Das Brechungsgesetz gibt

$$n_1 \sin\vartheta_1 = n_2 \sin\vartheta_2 \qquad 6)$$

oder differenziert

$$n_1 \cos\vartheta_1\, d\vartheta_{1\|} = n_2 \cos\vartheta_2\, d\vartheta_{2\|}\,, \qquad 7)$$

analog erhält man leicht (siehe unten)

$$n_1\, d\vartheta_{1\perp} = n_2\, d\vartheta_{2\perp}\,. \qquad 8)$$

Aus 7) und 8) folgt durch Multiplikation, wegen $df_1 = df_2 = df$:

$$n_1^2 \cos\vartheta_1 \, d\Omega_1 \, df_1 = n_2^2 \cos\vartheta_2 \, d\Omega_2 \, df_2, \tag{9}$$

also der zu beweisende Satz.

8) ergibt sich folgendermaßen. Sei $d\eta$ der Winkel, den die Einfallsebene für den Hauptstrahl mit der Einfallsebene durch den Nachbarstrahl bildet, dann ist, weil immer Einfalls- und Austrittsebene zusammenfallen,

$$d\eta_1 = d\eta_2 = d\eta. \tag{10}$$

Aus Abb. 3 ergibt sich nun

$$d\eta \sin\vartheta = d\vartheta_\perp. \tag{11}$$

Aus 10) und 6) folgt dann

$$n_1 \sin\vartheta_1 \, d\eta_1 = n_2 \sin\vartheta_2 \, d\eta_2,$$

also

$$n_1 \, d\vartheta_{1\perp} = n_2 \, d\vartheta_{2\perp}.$$

Aus 9) in Verbindung mit 3) folgt dann, daß allgemein 1) besteht und daß 1) die Beziehung zwischen zwei Flächenelementen darstellt, die sich gegenseitig beleuchten.

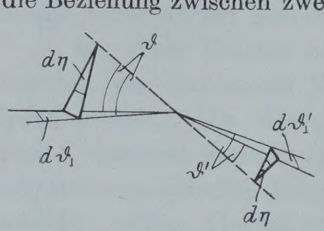


Abb. 3. Brechung des sagittalen Bündels.

Hierbei ist allerdings die implizite Voraussetzung gemacht, daß jeder Punkt des einen Flächenelements mit jedem Punkt des zweiten Flächenelements nur durch einen Strahl verbunden ist, d. h. daß keine Abbildung der beiden Flächenelemente aufeinander vorhanden ist.

Der zweite Straubelsche Satz beschäftigt sich mit dem anderen Extremfall, daß eine Abbildung unseres Flächenelements durch besagte Elementarkegel erfolgt. Gegeben seien wieder zwei Flächenelemente. Von jedem der Punkte des ersten Flächenelements gehe ein Strahlenkegel aus, vom Öffnungswinkel $d\Omega$, deren Strahlen mit der Flächennormale des ersten Elements einen Winkel ϑ bilden; wir setzen voraus, daß alle diese Strahlenkegel sich in den Punkten des zweiten Flächenelements wieder punktförmig vereinigen, und daß die dort mündenden Kegel einen räumlichen Öffnungswinkel $d\Omega'$ haben, und daß ihre Strahlen mit der zweiten Flächennormale einen Winkel ϑ' bilden; dann besagt der zweite Straubelsche Satz: auch in diesem Fall gilt die hier natürlich ganz anderes aussagende Beziehung

$$n^2 \cos\vartheta \, df \, d\Omega = n'^2 \cos\vartheta' \, df' \, d\Omega'. \tag{12}$$

Der Beweis dürfte am einfachsten wie folgt zu erbringen sein. Die Auswahl der Strahlenkegel können wir uns in folgender Weise denken. Wir nehmen an einem beliebigen Punkt unseres Hauptstrahls in beliebiger Lage eine Blende an. Mag df_B das Flächenelement der Blende sein, mag der Hauptstrahl mit der Flächennormale den Winkel ϑ_B bilden, dann folgt aus der Eigenschaft der Blende, daß man die von den Punkten des ersten Flächenelements herkommenden Strahlen auch so zusammenfassen kann, daß man alle durch einen festen Punkt der Blende gehenden Strahlen herausgreift. Die so gefundenen Strahlenkegel mögen einen Öffnungswinkel $d\Omega_B$ erfüllen. $d\Omega_B$ ist dann der Winkel, unter dem die beiden Flächenelemente von der Blende aus gesehen erscheinen. Aus dem zweimal angewandten ersten Straubelschen Satz folgt dann

$$n^2 \cos\vartheta \, df \, d\Omega = n_B^2 \cos\vartheta_B \, df_B \, d\Omega_B = n'^2 \cos\vartheta' \, df' \, d\Omega'. \tag{13}$$

Eine weitere Verallgemeinerung dieser Gedankengänge findet sich in einer Arbeit von Labussière (1), die noch etwas allgemeiner ist als die bisherigen Betrachtungen und dieselben als Spezialfall enthält.

Labussière geht aus von einer beliebigen endlichen Fläche F_1. Von jedem Punkt dieser Fläche gehe ein Strahlenkegel aus, der einen Raumwinkel Ω_1 erfüllt. Sei ϑ_1 der Winkel, den ein beliebiger Strahl mit der Flächennormale bildet.

Wählen wir nun irgendwo eine beliebige Fläche F_2, von der wir nur voraussetzen wollen, daß sie jeden Strahl eine ungerade Anzahl von Malen schneidet, dann gilt in leicht verständlicher Weise

$$\iint_{F_1} n_1^2\, df_1 \int_{\Omega_1} \cos\vartheta_1\, d\Omega_1 = \iint_{F_2} n_2^2\, df_2 \int \cos\vartheta_2\, d\Omega_2 . \qquad 14)$$

Der Beweis ergibt sich in einfacher Weise aus den Straubelschen Sätzen. Hier fällt die Schwierigkeit einer Wahl einer Blende fort, da man die Strahlen ziemlich willkürlich zusammenfassen kann.

Labussière gibt in seiner Arbeit noch eine weitere Strahlinvariante, die man erhält, wenn E eine beliebige bei Brechung und Reflexion invariante Funktion der Strahlenkoordinaten, also eine Invariante längs jeden einzelnen Strahls ist. Dann gilt

$$\iint_{F} n_1^2\, df_1 \int_{\Omega_1} E_1 \cos\vartheta_1\, d\Omega_1 = \iint_{F'} n_2^2\, df_2 \int_{\Omega_2'} E_2 \cos\vartheta_2\, d\Omega_2 . \qquad 15)$$

Man kann die hier gewonnenen Erkenntnisse nun auch von der physikalischen Seite her betrachten.

Der Lichtstrom, der von einem leuchtenden Flächenelement von der Größe df längs eines Strahls, der mit der Flächennormale einen Winkel ϑ bildet, ausgesandt wird, ist proportional der Projektion des Flächenelements senkrecht zur Richtung des Lichtstroms und proportional dem Öffnungswinkel des $d\Omega$ austretenden Strahlenkegels. Die Konstante k sei die spezifische Intensität des Lichtstrahls bezogen auf das Vakuum. Dann ist der Lichtstrom

$$L = k\, n^2 \cos\vartheta\, df\, d\Omega .$$

Setzen wir $k = 1$, und bezeichnen die so erhaltene Größe als den geometrischen Lichtstrom, so kommt man leicht zu der wohl zuerst von Clausius angestellten Überlegung, daß der Lichtstrom, der von einem Flächenelement ausgeht und das zweite gerade bedeckt, dieselbe Größe hat wie der von der zweiten Fläche ausgehende Lichtstrom, der die erste Fläche gerade bedeckt. Das gibt den ersten Straubelschen Satz und eine analoge Überlegung führt dann auch zu dem zweiten Satz. Auch der erste Satz von Labussière bedeutet in diesem Sinne nur, daß der von einer endlichen Fläche ausgehende Lichtstrom eine Invariante ist, die auf jeder beliebigen, die Lichtstrahlen eine ungerade Mal schneidenden Fläche gemessen werden kann. Die hier angedeuteten Überlegungen greifen auf Gedankengänge von Clausius(1) zurück; sie werden in einer demnächst erscheinenden Arbeit von Dr. Lihotzky weiter ausgeführt werden.

Aus den Überlegungen, die wir soeben angestellt haben, folgt nun auch, inwieweit sich die Straubelschen Sätze umkehren lassen.

Wenn der Punkt P unseres Flächenelements df durch den Strahlenkegel mit dem Öffnungswinkel $d\Omega$ auf den Punkt P' des Flächenelements df' abgebildet wird, und die Gleichung

$$n^2\, df \cos\vartheta\, d\Omega = n'^2\, df' \cos\vartheta'\, d\Omega' \qquad 16)$$

gilt, so geht der ganze von dem ersten Flächenelement ausgehende Lichtstrom durch das zweite Flächenelement. Dazu ist aber nicht unbedingt nötig, daß jeder Punkt des einen Flächenelementes punktförmig in einen Punkt des zweiten Flächenelements abgebildet wird, wie wir es bei Umkehrung vorausgesetzt haben. Daß das nicht er-

forderlich sein kann, erkennt man leicht durch folgende Überlegung: Nehmen wir an, es bestände eine punktförmige Abbildung zwischen df und df'; betrachten wir das Flächenelement df_1', das durch Projektion von df' senkrecht zum Hauptstrahl entsteht, dann ist

$$df_1' = df' \cos\vartheta', \tag{17}$$

also wegen 15) auch

$$n^2\, df \cos\vartheta\, d\Omega = n'^2\, df_1'\, d\Omega', \tag{18}$$

aber ersichtlich sind durch die soeben betrachteten Strahlen diese beiden Flächenelemente nicht punktförmig aufeinander abgebildet. Trotzdem tritt an dieser Stelle der ganze vom Flächenelement df ausgehende Lichtstrom durch das Flächenelement df_1'.

Für diese Art von Abbildung haben wir den Ausdruck „Abbildung bis auf Glieder höherer Ordnung“ geprägt, während wir bei einer Abbildung, bei der jedem Punkt des objektseitigen Flächenelements auch bildseitig ein Punkt des betreffenden Flächenelements entspricht als exakte Abbildung des Flächenelements bezeichnen.

Die Straubelsche Gleichung ist notwendig, aber nicht hinreichend für exakte Abbildung eines Flächenelements, sie ist hinreichend für das Bestehen einer Abbildung bis auf Größen höherer Ordnung.

Es ist verständlich, daß diese Unterscheidung in der Literatur bisher keine allzu große Rolle gespielt hat; solange nur die Abbildung eines Flächenelements behandelt wurde, verschwammen diese Unterschiede, da es sich nur um Gesetze erster Ordnung handelte. Wir werden es im folgenden aber auch mit der Abbildung endlicher Flächen zu tun haben, und dort treten diese Unterschiede ganz klar hervor.

2. Die Straubelschen Sätze für das ebene Büschel.

Von besonderer Wichtigkeit für die kommenden Probleme sind die Sätze, die Straubel für das ebene Büschel angegeben hat.

Wir wollen, um anschaulich zu bleiben, zunächst den für uns wichtigsten Spezialfall behandeln: Gegeben sei ein rotationssymmetrisches System und ein Linienelement dl in der Meridianebene. Dann werden alle Strahlen, die von einem Punkt dieses Linienelements ausgehen und in dieser Meridianebene liegen, immer in derselben bleiben. In dem im vorigen Abschnitt betrachteten räumlichen Problem ist also ein ebenes Problem enthalten, das man in analoger Weise behandeln kann.

Sei dl das Linienelement, sei dw der ebene Öffnungswinkel der dünnen von den Punkten des Linienelements ausgehenden Büschel, sei α der Winkel, den die Strahlen mit dem Linienelement bilden, dann ist

$$n\, dl \sin\alpha\, dw = J \tag{19}$$

eine Invariante für das Problem. Man kann J wie oben als den geometrischen ebenen Lichtstrom bezeichnen. Es gelten dann die beiden Straubelschen Sätze:

Satz 1. Seien dl_1 bzw. dl_2 zwei Linienelemente an einem Hauptstrahl, die optisch nicht aufeinander abgebildet sind, seien α_1 bzw. α_2 die Winkel der Strahlen gegen diese Linienelemente, seien dw_1 bzw. dw_2 die Winkel, unter denen das zweite Linienelement vom ersten aus gesehen erscheint bzw. umgekehrt, dann ist

$$n_1\, dl_1 \sin\alpha_1\, dw_1 = n_2\, dl_2 \sin\alpha_2\, dw_2\,. \tag{20}$$

Der zweite Satz hat folgenden Wortlaut:

Seien dl bzw. dl' zwei Linienelemente, die sich punktweise entsprechen, sei dw bzw. dw' der Öffnungswinkel der von P ausgehenden, in P' mündenden Strahlenbüschel, α bzw. α' der Winkel gegen die Linienelemente, dann gilt

$$n\, dl \sin\alpha\, dw = n'\, dl' \sin\alpha'\, dw'\,. \tag{21}$$

Der Beweis verläuft analog wie oben. Auch die Umkehrung läßt sich in derselben Weise aussprechen:

Die Gültigkeit von 21) für zwei Linienelemente, bei denen je ein Punkt optisch konjugiert ist, zieht die Abbildung der Linienelemente bis auf Größen höherer Ordnung nach sich.

Auch für ein Strahlenbündel, das in einer Ebene senkrecht zur Meridianebene liegt und ein Linienelement senkrecht zur Meridianebene abbilden soll, gilt die obige Betrachtung. Der ebene Lichtstrom ist an jeder Stelle gleich.

Unter Benutzung des Begriffs vom ebenen Lichtstrom kann man nun unsere Aussage noch weiter fassen und schließlich behaupten:

Gegeben sei ein Linienelement dl. Von jedem seiner Punkte gehe ein ebenes Bündel (Öffnungswinkel dw) aus, das mit dem Linienelement den Winkel α bildet. Wir setzen voraus, daß die betrachteten Bündel bildseitig wieder eben sind, und sich punktförmig auf den Punkten eines Linienelements vereinigen; auch dann gilt die Straubelsche Gleichung

$$n\, dl \sin\alpha\, dw = n'\, dl' \sin\alpha'\, dw' . \qquad 22)$$

Hier kann man nicht, wie oben, den Weg des Strahlenbüschels von Fläche zu Fläche verfolgen; ein ebenes Bündel bleibt nämlich bei Brechung und Reflexion im allgemeinen durchaus nicht eben. Trotzdem läßt sich der obige Satz aus dem Begriff des Lichtstroms folgern.

Kapitel II.

Das Kosinusgesetz.

1. Die Abbildung eines Linienelements.

Die Untersuchungen, um die es sich in dieser Arbeit handelt, beschäftigen sich mit den Voraussetzungen, unter denen ein bestimmter Anfangszustand optisch mit einem bestimmten Endzustand verknüpft werden kann.

Die Grundlage dieser Untersuchungen kann außer energetischen Betrachtungen, wie wir sie im vorigen Kapitel angestellt haben, nur der sogenannte Fermatsche Satz sein, der auch eine Aussage widergibt, die unabhängig von allen Zwischenvorgängen es nur mit Anfangs- und Endzustand zu tun hat.

Der Fermatsche Satz besagt etwa, daß das Licht sich zwischen zwei Punkten so bewegt, daß die Zeit, in der es den wirklichen Weg zurücklegt, einen extremen Wert hat, gegenüber der Zeit, die es für irgendeinen benachbarten Weg gebrauchen würde.

Da die Geschwindigkeit des Lichtes in verschiedenen Medien sich wie die Brechungsexponenten verhält, so kann man den obigen Satz auch folgendermaßen aussprechen. Für den wirklichen Weg des Lichtes zwischen zwei Punkten P und P' gilt stets

$$\delta \int_P^{P'} n\, ds = 0 . \qquad 23)$$

Es sei nur eine beliebige, aber zusammenhängende[1]) Strahlenmannigfaltigkeit gegeben, die von einem Punkt P im Objektraum ausgehend sich wieder in einem Punkt P' des Bildraums vereinigt, dann folgt evident aus 23), daß der Lichtweg

---

[1]) Unter zusammenhängend versteht man eine Mannigfaltigkeit, bei der man stetig von einem ihrer Elemente zu jedem andern gelangen kann, ohne die Mannigfaltigkeit zu verlassen.

zwischen P und P' auf allen Strahlen dieser Mannigfaltigkeit gleich sein muß, d. h. allein eine Funktion von Anfangs- und Endpunkt darstellt

$$\int_P^{P'} n\,ds = E(P, P') = \text{const.} \qquad 24)$$

Gl. 24) ist die notwendige Bedingung für die Abbildung eines Punktes durch eine Strahlenmannigfaltigkeit.

Wir wollen jetzt annehmen, ein Linienelement (Abb. 4) werde durch eine Strahlenmannigfaltigkeit punktweise abgebildet. D. h. eine gegebene Strahlenmannigfaltigkeit durch P treffe sich in P', eine stetig daraus ableitbare Strahlenmannigfaltigkeit durch das infinitesimal benachbarte Q treffe sich in Q'.

Wir nehmen zuerst einmal an, die abbildende Strahlenmannigfaltigkeit sei einfach unendlich, d. h. ein allgemeiner Kegelmantel[1]); dann schneiden sich die beiden von P und Q' ausgehenden Kegelmäntel im allgemeinen in einer Kurve $\mathfrak{C}$;

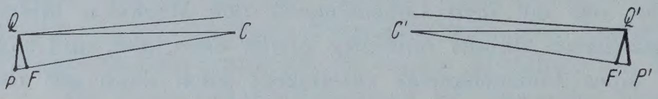


Abb. 4. Abbildung zweier Linienelemente PQ auf $P'Q'$.

analog treffen sich die beiden in P' bzw. Q' mündenden Kegelmäntel in einer Kurve $\mathfrak{C}'$.

Greifen wir jetzt einen beliebigen Strahl durch P heraus; er treffe die Kurve $\mathfrak{C}$ in C, die Kurve $\mathfrak{C}'$ in C'. Man betrachte den Strahl QC. Sein Bild geht nicht notwendig durch C', ist aber dem Strahl $C'Q'$ jedenfalls unendlich benachbart. Der dem Strahl $Q'C'$ objektseitig entsprechende Strahl geht nicht notwendig durch C, ist aber dem Strahl QC unendlich benachbart.

Wir haben jetzt also objekt- wie bildseitig ein Strahlentripel, das paarweise konjugiert ist.

Fällen wir von Q bzw. Q' das Lot auf PC bzw. $C'P'$, so steht dasselbe auf unserm Strahlentripel senkrecht, kann also als Teil einer Wellenfläche betrachtet werden. Die Fußpunkte des Lotes mögen F bzw. F' heißen.

Dann ist, da bekanntlich der Lichtweg zwischen Wellenflächen konstant ist,

$$E(F, F') = E(Q, Q'), \qquad 25)$$

also

$$dE = E(QQ') - E(PP') = E(FF') - E(PP') = n'P'F' - nPF, \qquad 26)$$

nun ist

$$\left.\begin{aligned} P'F' &= dl' \cos\alpha', \\ PF &= dl \cos\alpha, \end{aligned}\right\} \qquad 27)$$

wenn dl bzw. dl' die Längen der Linienelemente PQ bzw. $P'Q'$ bedeuten, α bzw. α' die Winkel des Strahls gegen das Linienelement, und da die linke Seite von 26) wegen des Fermatschen Satzes eine Konstante ist, nämlich die Zunahme des Lichtweges, finden wir als notwendige Bedingung für die Abbildung eines Linienelements durch eine zusammenhängende (natürlich nicht mehr notwendig eindimensionale) Strahlenmannigfaltigkeit

$$n'\,dl' \cos\alpha' - n\,dl \cos\alpha = dE. \qquad 27a)$$

Dividieren wir durch dl und setzen

$$\frac{dl'}{dl} = \beta', \qquad 28)$$

wo β' also die Vergrößerung des Linienelements bedeutet, dann erhalten wir eine Gleichung, in der nur endliche Werte vorkommen

$$n'\beta' \cos\alpha' - n \cos\alpha = \frac{dE}{dl}. \qquad 29)$$

---

[1]) S. auch Boegehold (2). Beweis für scharfe Abbildung.

Eine dritte, oft verwendbare Form erhalten wir, wenn wir die Winkel kennen, die ein bestimmter Strahl, den wir als Hauptstrahl bezeichnen können, mit den Tangenten an die Linienelemente bildet. Sei α_0 bzw. α_0' der Winkel zwischen Hauptstrahl und Linienelement, so ergibt 29)

$$n'\beta'(\cos\alpha' - \cos\alpha_0') = n(\cos\alpha - \cos\alpha_0)$$

oder

$$\beta' = \frac{n(\cos\alpha - \cos\alpha_0)}{n'(\cos\alpha' - \cos\alpha_0')}, \qquad 30)$$

d. h. der Ausdruck auf der rechten Seite ist unabhängig von der Auswahl der Strahlen eine Konstante, nämlich gleich der Vergrößerung des abzubildenden Linienelements.

Für einen Spezialfall, nämlich den Fall, daß das abzubildende Linienelement durch ein ebenes Bündel abgebildet wird, in dessen Ebene es liegt, läßt sich der Kosinussatz aus Gl. 22) durch Integration ableiten. Gl. 22) läßt sich, da in unserem Falle alle Strahlen das Linienelement dl mit der gleichen Vergrößerung abbilden,

$$\frac{dl'}{dl} = \beta' \qquad 31)$$

und da

$$dw = d\alpha$$

ist, schreiben

$$d(n'\beta'\cos\alpha') = d(n\cos\alpha) \qquad 32)$$

oder integriert

$$n'\beta'\cos\alpha' - n\cos\alpha = \text{const.} \qquad 33)$$

also Form 29) der Kosinusrelation.

In diesem Fall ist die Umkehrung auch klar ersichtlich: Alle vom Ausgangselement dl längs den betrachteten Strahlen ausgesandte Energie geht im Fall der Gültigkeit von 33) durch das Linienelement dl'. Eine punktförmige Abbildung der Punkte eines Linienelements durch unsere Strahlenmannigfaltigkeit ist dadurch jedoch nicht gegeben.

Wir sprechen diesen Tatbestand, wie im vorigen Kapitel folgendermaßen aus: Die Kosinusrelation gewährleistet bei ihrer Erfüllung eine Abbildung bis auf Größen höherer Ordnung.

Zum Schluß wollen wir die Kosinusrelation noch in Vektorform aufschreiben. Seien $\mathfrak{a}$ bzw. $\mathfrak{a}'$ die Einheitsvektoren parallel zu den Linienelementen, seien $\mathfrak{s}$ bzw. $\mathfrak{s}'$ die Einheitsvektoren entlang den Strahlen, so wird, wenn $\mathfrak{s}_0$ bzw. $\mathfrak{s}_0'$ die Einheitsvektoren entlang den Hauptstrahlen sind, aus Gl. 30)

$$n'\beta'(\mathfrak{s}' - \mathfrak{s}_0')\,\mathfrak{a}' = n(\mathfrak{s} - \mathfrak{s}_0)\,\mathfrak{a}. \qquad 34)$$

Zum Schluß dieses Abschnitts wollen wir die Kosinusrelation noch für zwei Spezialfälle umformen.

Zuerst möge ein Strahl existieren, der alle beiden Linienelemente berührt. Wir machen ihn zum Hauptstrahl, also setzen

$$\alpha_0 = \alpha_0' = 0, \qquad 35)$$

dann wird aus 30)

$$\beta' = \frac{n(\cos\alpha - 1)}{n'(\cos\alpha' - 1)} = \frac{n\sin^2\frac{\alpha}{2}}{n'\sin^2\frac{\alpha'}{2}}$$

oder

$$n' \beta' \sin^2 \frac{\alpha'}{2} = n \sin^2 \frac{\alpha}{2}, \qquad 36)$$

eine Verallgemeinerung der bekannten Herschelschen Bedingung, die in einem rotationssymmetrischen System die Abbildung eines Elements der Achse gewährleistet.

Als zweiten Fall nehmen wir an, daß ein Strahl existiere, der in Objekt- und Bildraum mit dem Linienelement einen rechten Winkel bilde.

Dann ist

$$\alpha_0 = \alpha_0' = 90^0 \qquad 37)$$

also aus Gl. 30)

$$n' \beta' \cos \alpha' = n \cos \alpha. \qquad 38)$$

In diesem Spezialfall ist die sogenannte Sinusbedingung enthalten, die wir noch später studieren wollen.

Wichtig ist noch, wie man bei der Betrachtung von 34) erkennt, daß durch Gl. 34) der im Bildpunkt mündende Strahl durch die Angabe der anderen Bestimmungsstücke nicht festgelegt ist. Wir wissen von ihm nur, daß er mit dem bildseitigen Linienelement einem Winkel α' bilden muß, also auf einen bestimmten Kegelmantel um dies Linienelement liegt.

2. Die Abbildung eines Flächenelements.

Gegeben sei ein Flächenelement. Wir wollen annehmen, es werde durch eine zusammenhängende Strahlenmannigfaltigkeit punktweise abgebildet. D. h. es existiere, eine zusammenhängende Strahlenmannigfaltigkeit, die von einem Punkte P des ersten Flächenelements ausgehend, sich in einem Punkte P' des zweiten Flächenelements trifft, und von jedem benachbarten Punkt gehe eine stetig aus der obengenannten Mannigfaltigkeit abzuleitende Strahlenmannigfaltigkeit aus, die sich wieder in einem Punkt des bildseitigen Flächenelements vereinigt.

Es entspricht hierbei also jedem in unserm Flächenelement gelegenen Linienelement eindeutig ein bestimmtes Linienelement, das in dem bildseitigen Flächenelement gelegen ist, und durch unsere Strahlenmannigfaltigkeit scharf abgebildet wird. Für jedes dieser Linienelementpaare und unsere Strahlenmannigfaltigkeit gilt dann gemäß dem vorigen Abschnitt eine Art Kosinussatz, z. B. in Form von 29). In dieser Formel kann natürlich die Vergrößerung β' des Linienelements noch mit dem Linienelement variieren.

Wenn zwei aufeinander durch unsere Strahlenmannigfaltigkeit abgebildete Paare von Linienelementen gegeben sind, z. B. durch die Einheitsvektoren entlang ihren Tangenten, so ist die Zuordnung aller Linienelemente gegeben. Seien $\mathfrak{a}_1, \mathfrak{a}_1'; \mathfrak{a}_2, \mathfrak{a}_2'$ die erwähnten Einheitsvektoren, seien $\mathfrak{s}, \mathfrak{s}'$ wie oben die Einheitsvektoren entlang den Strahlen, so ist gemäß 34)

$$\left.\begin{aligned} n' \beta_1' (\mathfrak{s}' - \mathfrak{s}_0') \mathfrak{a}_1' &= n (\mathfrak{s} - \mathfrak{s}_0) \mathfrak{a}_1 \\ n' \beta_2' (\mathfrak{s}' - \mathfrak{s}_0') \mathfrak{a}_2' &= n (\mathfrak{s} - \mathfrak{s}_0) \mathfrak{a}_2 \end{aligned}\right\} \qquad 39)$$

wo β_1', β_2' die Vergrößerungen der ausgewählten Linienelemente sind. Sei dann

$$\mathfrak{a}_3 = \varkappa\, \mathfrak{a}_1 + \lambda\, \mathfrak{a}_2$$

ein Einheitsvektor längs einer beliebigen Tangente an das Flächenelement, so folgt aus 39) durch Multiplikation mit $\varkappa$ bzw. λ und Addition:

$$n' (\mathfrak{s}' - \mathfrak{s}_0') (\beta_1' \varkappa\, \mathfrak{a}_1' + \beta_2' \lambda\, \mathfrak{a}_2') = n (\mathfrak{s} - \mathfrak{s}_0) \mathfrak{a}_3, \qquad 40)$$

und es wird

$$\beta_1' \varkappa \mathfrak{a}_1' + \beta_2' \lambda \mathfrak{a}_2' = \beta_3' \mathfrak{a}_3', \tag{41}$$

wo $\mathfrak{a}_3'$ ein Einheitsvektor tangential zum bildseitigen Flächenelement ist, und β_3' die dazugehörige Vergrößerung angibt.

Wir sehen also, es genügt, zwei Paare von zugeordneten Linienelementen anzugeben, um eine Abbildung des ganzen Flächenelements zu gewährleisten. Nun gibt es bekanntlich und im allgemeinen nur ein Paar Linienelemente, die ebenso wie ihre Bilder aufeinander senkrecht stehen. Seien $\mathfrak{a}_1$, $\mathfrak{a}_1'$; $\mathfrak{a}_2$, $\mathfrak{a}_2'$ die Einheitsvektoren tangential zu diesen Linienelementen, so daß also

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{a}_1 \cdot \mathfrak{a}_2 &= 0 \\ \mathfrak{a}_1' \cdot \mathfrak{a}_2' &= 0 \end{aligned}\right\} \tag{42}$$

ist. Dann folgt, wenn wieder

$$\left.\begin{aligned} n' \beta_1' (\mathfrak{s}' - \mathfrak{s}_0') \mathfrak{a}_1' &= n (\mathfrak{s} - \mathfrak{s}_0) \mathfrak{a}_1 \\ n' \beta_2' (\mathfrak{s}' - \mathfrak{s}_2') \mathfrak{a}_2' &= n (\mathfrak{s} - \mathfrak{s}_0) \mathfrak{a}_2 \end{aligned}\right\} \tag{43}$$

ist, aus

$$\mathfrak{a}_3 = \cos\varphi\, \mathfrak{a}_1 + \sin\varphi\, \mathfrak{a}_2 \tag{44}$$

die Gleichung

$$\beta_3' \mathfrak{a}_3' = \cos\varphi\, \beta_1' \mathfrak{a}_1' + \sin\varphi\, \beta_2' \mathfrak{a}_2'. \tag{45}$$

Wenn wir nun

$$\mathfrak{a}_3' = \cos\varphi'\, \mathfrak{a}_1' + \sin\varphi'\, \mathfrak{a}_2' \tag{46}$$

setzen, folgt

$$\beta_3'^2 = \beta_1'^2 \cos^2\varphi + \beta_2'^2 \sin^2\varphi \tag{47}$$

und

$$\begin{aligned} \cos\varphi' &= \frac{\beta_1' \cos\varphi}{\beta_3'}, \\ \sin\varphi' &= \frac{\beta_2' \sin\varphi}{\beta_3'}. \end{aligned} \tag{48}$$

Aus 47) folgt, daß einem kreisförmigen Flächenelement bildseitig ein elliptisches Flächenelement entspricht, dessen Hauptachsen das β_1' bzw. β_2' fache des Kreisradius betragen.

Von 29) ausgehend können wir auch die Änderung von $\frac{dE}{dl}$ untersuchen. An Stelle von 39) tritt hier

$$\left.\begin{aligned} n' \beta_1' \mathfrak{s}' \mathfrak{a}_1' - n \mathfrak{s} \mathfrak{a}_1 &= \frac{dE}{dl_1} = C_1 \\ n' \beta_2' \mathfrak{s}' \mathfrak{a}_2' - n \mathfrak{s} \mathfrak{a}_2 &= \frac{dE}{dl_2} = C_2 \end{aligned}\right\} \tag{49}$$

Gl. 44) ergibt dann

$$\frac{dE}{dl} = C = C_1 \cos\varphi + C_2 \sin\varphi. \tag{50}$$

Gl. 50) zeigt uns, daß für

$$\operatorname{tg}\varphi^* = -\frac{C_1}{C_2} \tag{51}$$

die Konstante C verschwindet.

In dieser Richtung, die wegen 48) der Richtung

$$\operatorname{tg} \varphi'^* = -\frac{\beta_2' C_1}{\beta_1' C_2} \qquad 52)$$

entspricht, hat der Lichtweg einen konstanten Wert.

In der dazu objektseitig senkrechten Richtung, die gegeben ist durch

$$\left.\begin{aligned} \operatorname{tg} \varphi^{**} &= \frac{C_2}{C_1} \\ \operatorname{tg} \varphi^{**\prime} &= \frac{\beta_2' C_2}{\beta_1' C_1} \end{aligned}\right\} \qquad 53)$$

hat $\frac{dE}{dl} = C$ seinen größten Wert

$$C^{**2} = C_1^2 + C_2^2; \qquad 54)$$

die zugehörigen Vergrößerungen ergeben sich aus 47) zu

$$\beta^{*\prime 2} = \frac{\beta_1'^2 C_1^2 + \beta_2'^2 C_2^2}{C_1^2 + C_2^2}, \qquad 55)$$

$$\beta^{**\prime 2} = \frac{\beta_2'^2 C_1^2 + \beta_1'^2 C_2^2}{C_1^2 + C_2^2}. \qquad 56)$$

Besonderes Interesse bietet der Fall $C_2 = 0$. Hierbei fällt das Minimum und Maximum von C mit den Extremwerten der Vergrößerung zusammen. Die obigen Gleichungen geben in diesem Spezialfall

$$\left.\begin{aligned} C &= C_1 \cos \varphi \\ \varphi^* &= 0 = \varphi^{*\prime} \\ \varphi^{**} &= \frac{\pi}{2} = \varphi^{**\prime} \\ \beta^* &= \beta_1' \\ \beta^{**} &= \beta_2' \end{aligned}\right\} \qquad 57)$$

Einen anderen Spezialfall erhält man, wenn

$$\beta_1' = \beta_2' \qquad 58)$$

ist. In diesem Fall ergibt Gl. 47), daß die Vergrößerung in allen Richtungen konstant ist. Gl. 48) lehrt, daß dann die Abbildung der beiden Flächenelemente aufeinander im kleinen winkeltreu ist $(\varphi' = \varphi)$.

Senkrechten Richtungen im Objektraum entsprechen dann senkrechte Richtungen im Bildraume. Wir können hier dann also ruhig annehmen, daß $C_2 = 0$ ist, und so diesen Fall als Spezialfall des vorigen ansehen. Einem kreisförmigen Flächenelement entspricht hier auch bildseitig ein kreisförmiges Flächenelement.

Wir fragen jetzt mit Carathéodory (1), wieviel Strahlen können im Höchstfall unser Flächenelement objekt-, wie bildseitig berühren. Gegeben seien die beiden Kosinusrelationen in der Normalform 49)

$$n' \beta_1' \mathfrak{s}' \mathfrak{a}_1' - n \mathfrak{s} \mathfrak{a}_1 = C_1,$$
$$n' \beta_2' \mathfrak{s}' \mathfrak{a}_2' - n \mathfrak{s} \mathfrak{a}_2 = C_2.$$

Seien $\mathfrak{n}$ bzw. $\mathfrak{n}'$ Einheitsvektoren senkrecht zu den abzubildenden Flächenelementen dann kann man setzen

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{s} &= \varkappa \mathfrak{a}_1 + \lambda \mathfrak{a}_2 + \mu \mathfrak{n} \\ \mathfrak{s}' &= \varkappa' \mathfrak{a}_1' + \lambda' \mathfrak{a}_2' + \mu \mathfrak{n}' \end{aligned}\right\} \qquad 59)$$

wo

$$\varkappa^2 + \lambda^2 + \mu^2 = \varkappa'^2 + \lambda'^2 + \mu'^2 = 1 \qquad 60)$$

ist.

Aus Gl. 49) folgt

$$\left.\begin{aligned} n'\beta_1'\varkappa' &= n\varkappa + C_1 \\ n'\beta_2'\lambda' &= n\lambda + C_2 \end{aligned}\right\} \qquad 61)$$

Nur die Strahlen berühren bild- wie objektivseitig das zugehörige Flächelement, für die aus $\mu = 0$ folgt $\mu' = 0$. Die erste Gleichung ergibt wegen 60)

$$\varkappa^2 + \lambda^2 = 1. \qquad 62)$$

Die zweite, wegen 60) und 61)

$$\left(\frac{n\varkappa + C_1}{n'\beta_1'}\right)^2 + \left(\frac{n\lambda + C_2}{n'\beta_2'}\right)^2 = 1. \qquad 63)$$

Gl. 62) stellt, in $\varkappa$, λ betrachtet, den Einheitskreis dar, 69) eine Ellipse mit dem Mittelpunkt

$$\varkappa = -\frac{C_1}{n},\ \lambda = -\frac{C_2}{n} \qquad 64)$$

und den Halbachsen

$$\mathfrak{a} = \frac{n'\beta_1'}{n};\ \mathfrak{b} = \frac{n'\beta_2'}{n}. \qquad 65)$$

Diese beiden Kurven haben im Höchstfall vier Punkte gemeinsam.

Es gibt also im allgemeinen höchstens vier Strahlen, die ein Flächenelement bei Abbildung nach der Kosinusrelation objektiv- wie bildseitig berühren können. Falls mehr als vier Strahlen mit dieser Eigenschaft vorhanden sind, müssen die durch 62) und 63) dargestellten Kurven zusammenfallen. Das bedingt

$$C_1 = C_2 = 0 \qquad 66)$$

und

$$\beta_1' = \beta_2' = \frac{n}{n'}. \qquad 67)$$

Als zweiten Spezialfall wollen wir den Fall betrachten, daß ein Strahl existiert, der objekt- wie bildseitig auf dem abgebildeten Flächenelement senkrecht steht, für den also

$$\mathfrak{s}_0\,\mathfrak{a}_1 = \mathfrak{s}_0\,\mathfrak{a}_2 = \mathfrak{s}_0'\,\mathfrak{a}_1' = \mathfrak{s}_0'\,\mathfrak{a}_2' = 0 \qquad 68)$$

ist. Setzen wir 68) in 39) ein, so erhalten wir

$$\left.\begin{aligned} n'\beta_1'(\mathfrak{s}'\,\mathfrak{a}_1') &= n(\mathfrak{s}\,\mathfrak{a}_1) \\ n'\beta_2'(\mathfrak{s}'\,\mathfrak{a}_2') &= n(\mathfrak{s}\,\mathfrak{a}_2) \end{aligned}\right\} \qquad 69)$$

Nach der Untersuchung dieser Spezialfälle kehren wir wieder zur allgemeinen Betrachtung zurück.

Für die punktweise Abbildung eines Flächenelementes sind also zwei Gleichungen in Kosinusform notwendig. Gelten umgekehrt entlang einer zusammenhängenden Strahlenmannigfaltigkeit, die von einem Punkt P zu einem Punkt P' hinführt, zwei Relationen etwa der Form 49) so werden zwei Flächenelemente bis auf Größen höherer Ordnung aufeinander abgebildet.

Diese Aussage läßt sich etwa wie folgt präzisieren. Man denke sich im Objektraum um den Ausgangspunkt P ein leuchtendes Flächenelement. Ganz beliebig sei eine Blende angebracht, aber so, daß sie vom Punkt P nur die Strahlen durchläßt, die der sich in P' vereinigenden zusammenhängenden Mannigfaltigkeit angehören. Dann gehen bei Erfüllung der beiden Kosinusrelationen, alle von einem Punkt des kreisförmigen Objektelements ausgehenden Strahlen durch ein elliptisches Flächenelement, das den Punkt P' enthält, und dessen Achsen gleich dem β_1' bzw. β_2' fachen des Kreisradius ist.

Da hier die Blende noch willkürlich verschoben werden kann, können wir noch allgemeiner sagen: Alle Strahlen durch einen Punkt des ersten Flächenelements, die einem der Strahlen der Mannigfaltigkeit durch P unendlich benachbart sind, gehen durch das bildseitige Flächenlement.

Durch die beiden Kosinusrelationen ist übrigens allgemein jedem Strahl objektseitig ein bestimmter bildseitiger Strahl zugeordnet.

3. Die Abbildung eines Raumelements.

Zur Abbildung eines Raumelements werden drei Relationen in Kosinusform benötigt. Da schon durch zwei Relationen jedem Objektstrahl ein Bildstrahl zugeordnet wird, werden wir erwarten müssen, daß die Abbildung eines Raumelements im allgemeinen unmöglich ist.

Wir wollen in diesem Abschnitt die Bedingungen untersuchen, unter denen sie widerspruchslos möglich ist[1]. Gilt die Kosinusrelation für drei nicht in einer Ebene liegende Richtungen, so gilt sie allgemein. Es gibt hier auch drei aufeinander senkrechte Richtungen, denen im Bildraum drei aufeinander senkrechte Richtungen entsprechen. Seien die Einheitsvektoren entlang diesen Richtungen

$$\mathfrak{a}_1, \mathfrak{a}_2, \mathfrak{a}_3 \quad \text{bzw.} \quad \mathfrak{a}_1', \mathfrak{a}_2', \mathfrak{a}_3',$$

dann haben wir:

$$\left.\begin{aligned} n'\beta_1'\mathfrak{s}'\mathfrak{a}_2' &= n\mathfrak{s}\mathfrak{a}_1 + C_1 \\ n'\beta_2'\mathfrak{s}_1'\mathfrak{a}_2' &= n\mathfrak{s}\mathfrak{a}_2 + C_2 \\ n'\beta_3'\mathfrak{s}'\mathfrak{a}_3' &= n\mathfrak{s}\mathfrak{a}_3 + C_3 \end{aligned}\right\} \qquad 70)$$

Setzen wir

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{s} &= \varkappa\,\mathfrak{a}_1 + \lambda\,\mathfrak{a}_2 + \mu\,\mathfrak{a}_3 \\ \mathfrak{s}' &= \varkappa'\,\mathfrak{a}_1' + \lambda'\,\mathfrak{a}_2' + \mu'\,\mathfrak{a}_3' \end{aligned}\right| \qquad 71)$$

so gibt 70)

$$\left.\begin{aligned} \varkappa' &= \frac{n\varkappa + C_1}{n'\beta_1'}, \\ \lambda' &= \frac{n\lambda + C_2}{n'\beta_2'}, \\ \mu' &= \frac{n\mu + C_3}{n'\beta_3'}, \end{aligned}\right| \qquad 72)$$

Da $\mathfrak{s}$ und $\mathfrak{s}'$ Einheitsvektoren sind, muß aus

$$\varkappa^2 + \lambda^2 + \mu^2 = 1 \qquad 73)$$

identisch folgen

$$\varkappa'^2 + \lambda'^2 + \mu'^2 = 1. \qquad 74)$$

Gl. 74) und 72) geben, daß das Ellipsoid

$$\left(\frac{n\varkappa + C_1}{n'\beta_1'}\right)^2 + \left(\frac{n\lambda + C_2}{n'\beta_2'}\right)^2 + \left(\frac{n\mu + C_3}{n'\beta_3'}\right)^2 = 1 \qquad 75)$$

identisch mit der Kugel 73) übereinstimmen muß.

Das bedingt

$$\left.\begin{aligned} C_1 = C_2 = C_3 &= 0 \\ \beta_1' = \beta_2' = \beta_3' &= \frac{n}{n'} \end{aligned}\right\} \qquad 76)$$

[1]) S. auch Boegehold (3).

Wir sehen also: ein Raumelement läßt sich durch ein optisches System nur ähnlich und zwar mit der Vergrößerung $\frac{n}{n'}$ abbilden. Dieser Satz geht auf Felix Klein (1) zurück. Mit ihm fällt die Möglichkeit, durch optische Mittel von einem Raumelement in Luft, in Luft ein vergrößertes oder verkleinertes Bild zu erhalten. Damit verliert auch die in der Optik viel gebrauchte kollineare Abbildung als Ideal ihre Bedeutung, da man sie mit optischen Mitteln nicht erreichen kann. Wie wir im weiteren sehen werden, ist auch der von der Theorie der kollinearen Abbildung entsprechende Strahlengang gar nicht als erstrebbar anzusehen.

(Fortsetzung folgt.)

Über die Bestimmung des Kippachsenfehlers und die Prüfung bzw. Berichtigung von Reversionslibellen.

Von
Viktor Theimer in Leoben.

Über die Bestimmung des Kippachsenfehlers mit Hilfe einer Achsen-Reiterlibelle.

Als Kippachsenfehler eines theodolitartigen Instrumentes definiert man bekanntlich den Winkel, welchen die Kippachse mit der Normalebene der Alhidadenachse einschließt.

Will man den Kippachsenfehler theoretisch richtig bestimmen, dann muß man bedenken, daß nicht nur die Ungleichheit der Achsenenden und die Form der Achsenlager und Libellenfüße eine Rolle spielt, sondern auch noch die Aufstellungsfehler berücksichtigt werden müssen. Letztere deshalb, weil die Achsen-Reiterlibelle im allgemeinen weitaus empfindlicher ist als die Alhidadenlibellen, welche zur Vertikalstellung der Alhidadenachse bzw. zur Horizontierung des Instrumentes herangezogen werden.

Die Kippachse selbst ist in ihren auf den Trägerköpfen montierten Lagern gebettet, welche entweder zylindrisch abgedreht oder gabelförmig gebaut sind.

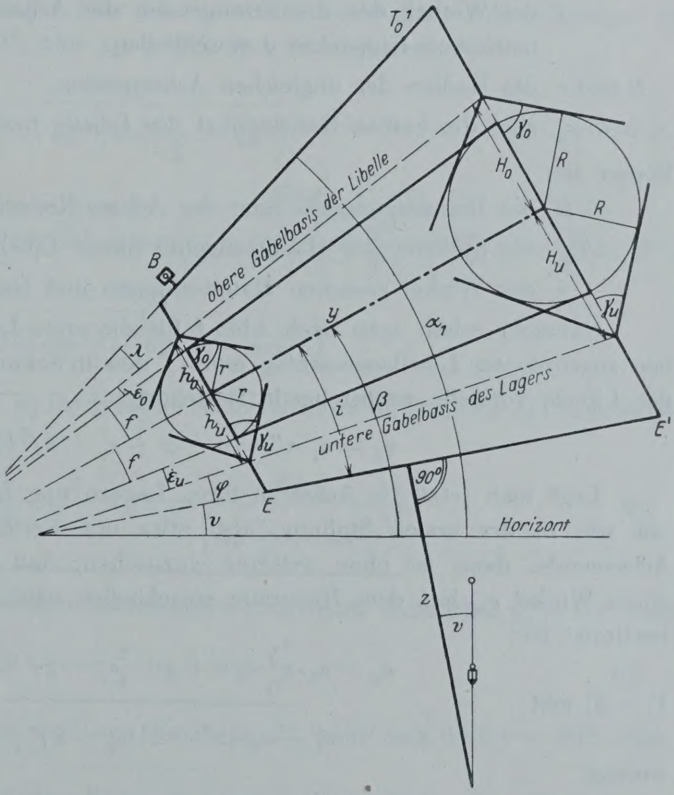


Abb. 1.

Die weitaus häufigeren Lagerformen sind die gabelförmigen, und der Gabelwinkel beträgt in der Regel 90^0.

Da die zylindrischen Lager sowohl als auch die einfachen Schneidenlager, bei denen die Achse auf einer horizontalen Schneide (Kante) ruht, als Spezialfälle der ge-

gabelten Lager aufgefaßt werden können, und zwar als jene Spezialfälle, in denen der Gabelwinkel genau 180° beträgt, so will ich den nachstehenden Betrachtungen die gegabelten Achsenlager zugrunde legen.

Ferner will ich, um überflüssige Abbildungen zu ersparen, in Abb. 1 bereits alle Linien eintragen, welche zur Bestimmung des Kippachsenfehlers erforderlich werden, wenn auch die ersten Betrachtungen lediglich den Beziehungen gewidmet sind, die zwischen Achse, Achsenlagern und Libellenfüßen bestehen.

In Abb. 1 ist:

z die Alhidadenachse, welche nach ihrer Horizontierung mit den Alhidadenlibellen noch einen kleinen Stehachsenfehler v besitzt, d. h. unter diesem Winkel gegen die Lotrichtung geneigt ist.

EE' der Schnitt einer Normalebene zur z-Achse mit der Zeichenebene.

φ der Winkel, den die untere Gabelbasis des Lagers mit der Normalebene der z-Achse einschließt.

ε_u der Winkel zwischen unterer Gabelbasis des Lagers und Achsen-Mantelfläche.

ε_o der Winkel zwischen oberer Gabelbasis der Libelle und Achsen-Mantelfläche.

y die mathematische Kippachse, welche mit der Normalebene EE' der Alhidadenachse den Kippachsenfehler i einschließt.

f der Winkel, den die Erzeugenden der Achsen-Mantelfläche mit der mathematischen Kippachse y einschließen.

R und r die Radien der ungleichen Achsenenden.

γ_o bzw. γ_u sind die halben Gabelwinkel der Libelle bzw. des Lagers.

Ferner ist:

B die Berichtigungsschraube der Achsen-Reiterlibelle.

T_0^1 die Stellung der Haupttangente dieser Libelle in der ersten Lage.

λ der Winkel zwischen Haupttangente und Gabelbasis der Libelle.

Nunmehr erhält man nach Abb. 1 für die erste Lage des Instrumentes, wenn a_1 den zugeordneten Libellenausschlag und τ'' den in Sekunden ausgedrückten Winkelwert der Libelle vorstellt, nachstehende Beziehung:

$$\alpha_1 = a_1 \cdot \tau'' = v + \varphi + \varepsilon_u + 2f + \varepsilon_o + \lambda. \tag{1}$$

Legt man jetzt die Achse in ihren Lagern um, und setzt die Libelle wieder so auf wie in der ersten Stellung, also etwa mit Berichtigungsschraube B am linken Achsenende, dann ist ohne weiteres einzusehen, daß die Haupttangente der Libelle einen Winkel α_2 mit dem Horizonte einschließen wird, der durch folgende Gleichung bestimmt ist:

$$\alpha_2 = a_2 \cdot \tau'' = v + \varphi - \varepsilon_u - 2f - \varepsilon_o + \lambda. \tag{2}$$

1) — 2) gibt:

$$(a_1 - a_2) \cdot \tau'' = 2 \cdot (\varepsilon_u + 2f + \varepsilon_o), \tag{3}$$

woraus

$$\varepsilon_u + 2f + \varepsilon_o = \tfrac{1}{2}(a_1 - a_2) \cdot \tau'' \tag{4}$$

folgt.

Nun ist nach Abb. 1:

$$H_o = \frac{R}{\sin\gamma_o}; \quad H_u = \frac{R}{\sin\gamma_u}; \quad h_o = \frac{r}{\sin\gamma_o}; \quad h_u = \frac{r}{\sin\gamma_u}; \tag{5}$$

ferner:

$$y \cdot (\widehat{\varepsilon_u + 2f + \varepsilon_o}) = (H_u + H_o) - (h_u + h_o)$$

$$\overset{5)}{=} R \cdot \left(\frac{1}{\sin \gamma_u} + \frac{1}{\sin \gamma_o}\right) - r\left(\frac{1}{\sin \gamma_u} + \frac{1}{\sin \gamma_o}\right)$$

$$= (R - r) \cdot \frac{\sin \gamma_o + \sin \gamma_u}{\sin \gamma_o \cdot \sin \gamma_u} = 2(R - r) \cdot \frac{\sin \frac{1}{2}(\gamma_o + \gamma_u) \cos \frac{1}{2}(\gamma_o - \gamma_u)}{\sin \gamma_o \cdot \sin \gamma_u};$$

Daraus folgt mit Rücksicht auf 4):

$$R - r = \frac{y}{4} \cdot (a_1 - a_2) \cdot \frac{\tau''}{\varrho''} \cdot \frac{\sin \gamma_o \cdot \sin \gamma_u}{\sin \frac{1}{2}(\gamma_o + \gamma_u) \cos \frac{1}{2}(\gamma_o - \gamma_u)}; \qquad 6)$$

Speziell für den Fall, daß die Lagergabeln kongruent sind den Libellengabeln, wird $\gamma_o = \gamma_u = \gamma$, also

$$R - r \overset{6)}{=} \frac{y}{4} \cdot (a_1 - a_2) \cdot \frac{\tau''}{\varrho''} \cdot \sin \gamma. \qquad 7)$$

Ist dann, wie das ja meistens der Fall ist, der halbe Gabelwinkel $\gamma = 45^0$, so wird

$$R - r = \frac{y}{4 \cdot \sqrt{2}} \cdot (a_1 - a_2) \cdot \frac{\tau''}{\varrho''}. \qquad 8)$$

Für zylindrische Achsenlager oder aber einfache horizontale Schneidenlager ist der Öffnungswinkel gleich 180^0, also $\gamma_u = 90^0$; und es wird nach 6):

$$-r = \frac{y}{4} \cdot (a_1 - a_2) \cdot \frac{\tau''}{\varrho''} \cdot \frac{\sin \gamma_o}{\sin\left(\frac{\gamma_o}{2} + 45^0\right) \cos\left(\frac{\gamma_o}{2} - 45^0\right)}$$

$$= \frac{y}{4} \cdot (a_1 - a_2) \cdot \frac{\tau''}{\varrho''} \cdot \frac{\sin \gamma_o}{\left(\sin \frac{\gamma_o}{2} \cos 45^0 + \cos \frac{\gamma_o}{2} \sin 45^0\right) \cdot \left(\cos \frac{\gamma_o}{2} \cos 45^0 + \sin \frac{\gamma_o}{2} \sin 45^0\right)}$$

$$= \frac{y}{4} \cdot (a_1 - a_2) \cdot \frac{\tau''}{\varrho''} \cdot \frac{2 \cdot \sin \gamma_o}{\left(\sin \frac{\gamma_o}{2} + \cos \frac{\gamma_o}{2}\right) \cdot \left(\cos \frac{\gamma_o}{2} + \sin \frac{\gamma_o}{2}\right)}.$$

Mithin wird endgültig für zylindrische Achsenlager oder auch für einfache Schneidenlager $\gamma_u = 90^0$, und

$$R - r = \frac{y}{2} \cdot (a_1 - a_2) \cdot \frac{\tau''}{\varrho''} \cdot \frac{\sin \gamma_o}{\left(\sin \frac{\gamma_o}{2} + \cos \frac{\gamma_o}{2}\right)^2}. \qquad 9)$$

Sind auch noch die Libellenfüße den Achsenlagern kongruent, dann wird $\gamma_o = 90^0$ und

$$R - r = \frac{y}{4} \cdot (a_1 - a_2) \cdot \frac{\tau''}{\varrho''}. \qquad 10)$$

Denselben Ausdruck findet man auch aus Gleichung 7), wenn man dort $\gamma = 90^0$ setzt.

Dreht man jetzt, um auf den Kippachsenfehler überzugehen, den Apparat um 180^0 um seine Alhidadenachse, und setzt die Libelle wieder so auf wie in der ersten Lage, d. h. mit Rektifikationsschraube B am linken Achsenende, dann erhält man, wie leicht einzusehen ist, wenn a_3 den zugeordneten Libellenausschlag vorstellt, die Beziehung:

$$\alpha_3 = a_3 \cdot \tau'' = v - \varphi + \varepsilon_u + 2f + \varepsilon_o + \lambda, \qquad 11)$$

und es wird 1) — 11)

$$(a_1 - a_3)\cdot\tau'' = 2\,\varphi; \qquad \underline{\varphi = \tfrac{1}{2}(a_1 - a_3)\cdot\tau''}. \tag{12}$$

Beachtet man, daß nach Abb. 1 der Kippachsenfehler

$$i = \varphi + \varepsilon_u + f, \tag{13}$$

wobei φ durch Gleichung 12) definiert erscheint, dann ist es einleuchtend, daß dieser Kippachsenfehler nur dann einwandfrei ermittelt werden kann, wenn es gelingt, die Winkelsumme $(\varepsilon_u + f)$ festzustellen.

Da nun außer der Gleichung 4) keine weitere Gleichung zur Bestimmung der Summe $(\varepsilon_u + f)$ zur Verfügung steht, so ist im allgemeinen diese Summe und damit auch der Kippachsenfehler i selbst nicht feststellbar.

Nur dann, wenn die Libellenfüße den Achsenlagern kongruent sind, ist die Gleichung 4) zur Auswertung der Summe $(\varepsilon_u + f)$ geeignet; denn dann ist

$$\varepsilon_u = \varepsilon_o = \varepsilon,$$

also nach 4):

$$2(\varepsilon + f) = \tfrac{1}{2}(a_1 - a_2)\cdot\tau''; \qquad \varepsilon + f = \tfrac{1}{4}(a_1 - a_2)\cdot\tau''. \tag{14}$$

Und damit wird der Kippachsenfehler

$$\underline{i = \varphi + \varepsilon + f} \overset{12)}{\underset{14)}{=}} \frac{\tau''}{4}\cdot(2\,a_1 - 2\,a_3 + a_1 - a_2) = \underline{\frac{\tau''}{4}\cdot(3\,a_1 - 2\,a_3 - a_2)}. \tag{15}$$

Während also, wie oben gezeigt wurde, die Ungleichheit der Achsenenden unter allen Umständen ermittelt werden kann, ist eine Bestimmung des Kippachsenfehlers mit der Reiterlibelle nur dann möglich, wenn die Libellenfüße mit den Achsenlagern kongruent sind.

Daraus ergibt sich nachstehende Forderung:

Die Libellenfüße sollen den Achsenlagern kongruent sein, und die Rektifikationsvorrichtungen der Kippachsenlager sollen niemals so gebaut werden, daß ihre Betätigung eine Formänderung der Lager bedingt.

Von diesem Gesichtspunkte aus betrachtet sind demnach die so häufig gebrauchten Schlitzlager nicht ganz einwandfrei, wenn auch ihr schädlicher Einfluß nicht bedeutend werden kann.

Die Formel 15) liefert den Kippachsenfehler i nach Größe und Vorzeichen, und zwar wird bei abgesetzter Libellenteilung, wenn allgemein der Ausschlag $a = \frac{1}{2}(r - l)$ gesetzt wird und $\left\{\begin{matrix} r \text{ die Ablesung am rechten} \\ l \text{ „ „ „ linken} \end{matrix}\right\}$ Blasenrande bedeutet, $\underline{i \gtrless 0}$, je nachdem das linke Achsenende $\left(\begin{matrix}\text{zu tief}\\ \text{zu hoch}\end{matrix}\right)$ liegt.

Soll

$$\underline{i = 0}$$

sein, dann muß nach 15)

$$\underline{3\,a_1 - 2\,a_3 - a_2 = 0} \tag{16}$$

werden.

Im allgemeinen ist diese Bedingung von Haus aus nicht erfüllt, und um ihre Erfüllung zu bewirken, kehrt man zu der ersten Ausgangsstellung zurück, für welche sich der Libellenausschlag a_1 ergeben hat und auch wieder ergeben muß, vorausgesetzt daß mit genügender Vorsicht, also ohne Erschütterung des Instrumentes, gearbeitet wurde.

In dieser Ausgangsstellung wird dann das linke Achsenlager mit seinen Berichtigungsschräubchen um den Winkel i gehoben oder gesenkt; d. h. man betätigt die Berichtigungsschräubchen so lange, bis die Haupttangente der Libelle den Neigungswinkel

$$\underline{\alpha_1' = \alpha_1 - i} = a_1 \cdot \tau'' - \frac{\tau''}{4} \cdot (3\,a_1 - 2\,a_3 - a_2) = \underline{\frac{\tau''}{4}(a_1 + 2\,a_3 + a_2)}$$

bzw. den Ausschlag

$$\underline{a_1' = \tfrac{1}{4}(a_1 + 2\,a_3 + a_2)} \qquad 17)$$

zeigt. Damit ist die Rektifikation des Kippachsenfehlers vollzogen. Bei späteren Arbeiten mit dem berichtigten Theodolit ist jedoch immer wieder darauf zu achten, daß die Kippachse stets so eingelegt werden muß, wie sie bei der Berichtigung des Instrumentes in der ersten Lage (Ausgangsstellung) eingelegt war. Zu diesem Zwecke ist das eine Achsenende und das zugeordnete Lager irgendwie durch eine Marke kenntlich zu machen.

Daß nach der oben angegebenen Rektifikation in der Tat der Kippachsenfehler $i = 0$ ist, kann leicht gezeigt werden. Wird nämlich der Prüfungsvorgang mit dem berichtigten Instrumente wiederholt, dann ist

$$\alpha_1' = \alpha_1 - i \overset{17)}{=} \frac{\tau''}{4} \cdot (a_1 + 2\,a_3 + a_2),$$

$$\alpha_2' = \alpha_2 - i = a_2 \cdot \tau'' - \frac{\tau''}{4} \cdot (3\,a_1 - 2\,a_3 - a_2) = \frac{\tau''}{4} \cdot (5\,a_2 - 3\,a_1 + 2\,a_3),$$

$$\alpha_3' = \alpha_3 + i = a_3 \cdot \tau'' + \frac{\tau''}{4} \cdot (3\,a_1 - 2\,a_3 - a_2) = \frac{\tau''}{4} \cdot (2\,a_3 + 3\,a_1 - a_2),$$

und zwar ist in der letzten Gleichung deshalb $(+\,i)$ zu setzen, weil in der zweiten Kreislage der Kippachsenfehler mechanisch sein Vorzeichen wechselt.

Aus den letzten 3 Gleichungen erkennt man, daß sich als Libellenausschläge nunmehr die Werte

$$a_1' = \tfrac{1}{4}(a_1 + 2\,a_3 + a_2); \qquad a_2' = \tfrac{1}{4}(5\,a_2 - 3\,a_1 + 2\,a_3); \qquad a_3' = \tfrac{1}{4}(2\,a_3 + 3\,a_1 - a_2)$$

ergeben. Und diese Werte genügen in der Tat der Forderung 16); denn es wird:

$$3\,a_1' - 2\,a_3' - a_2' = \tfrac{1}{4}(3\,a_1 + 6\,a_3 + 3\,a_2 - 4\,a_3 - 6\,a_1 + 2\,a_2 - 5\,a_2 + 3\,a_1 - 2\,a_3) = 0. \quad 18)$$

Über die Horizontierung von Achsen.

Bei den Aufgaben der geodätischen Praxis wird es sich zumeist um die Horizontierung der geometrischen Achsen von Nivellierfernrohren handeln.

Dieselben liegen in den weitaus meisten Fällen auch wieder in gabelförmigen Lagern, und auch die freien Aufsatzlibellen haben meist gabelförmige Füße.

Es ist auch hier, genau so wie früher bei den Kippachsen-Reiterlibellen betont wurde, nicht statthaft, daß Achsenlager und Libellenfüße verschieden sind. Vielmehr müssen auch bei einer theoretisch richtigen Horizontierung von Achsen die Achsenlager und die Libellenfüße kongruent sein.

Bei vielen Nivellierinstrumenten werden diesbezügliche Fehler gemacht und beispielsweise kreisförmige Libellenfüße mit gabelförmigen Lagern kombiniert.

Als grundlegende Abbildung kann wieder die Abb. 1 herangezogen werden; nur handelt es sich jetzt nicht mehr um die Bestimmung des Winkels i, sondern um die Bestimmung des Winkels β.

Da bei Kongruenz von Lagern und Libellenfüßen

$$\varepsilon_o = \varepsilon_u = \varepsilon \qquad 19)$$

ist, so wird

$$\beta = v + \varphi + \varepsilon_u + f = v + \varphi + \varepsilon + f. \qquad 20)$$

In der ersten, durch Abb. 1 dargestellten Fernrohrlage wird der Neigungswinkel der Libellenhaupttangente T_0^1 gleich:

$$\alpha_1 = a_1 \cdot \tau'' = v + \varphi + \varepsilon_u + 2f + \varepsilon_o + \lambda \overset{19)}{=} v + \varphi + 2(\varepsilon + f) + \lambda. \qquad 21)$$

Legt man jetzt das Fernrohr mitsamt der daraufsitzenden Libelle in den Lagern um, so kommt die Berichtigungsschraube B der Libelle auf das rechte Achsenende, und es wird

$$\alpha_2 = a_2 \cdot \tau'' = v + \varphi - \varepsilon_u - 2f - \varepsilon_o - \lambda \overset{19)}{=} v + \varphi - 2(\varepsilon + f) - \lambda. \qquad 22)$$

Setzt man jetzt hinterher die Libelle am Fernrohre um, so daß ihre Berichtigungsschraube B wieder am linken Achsenende liegt, dann wird

$$\alpha_3 = a_3 \cdot \tau'' = v + \varphi - \varepsilon_u - 2f - \varepsilon_o + \lambda \overset{19)}{=} v + \varphi - 2(\varepsilon + f) + \lambda. \qquad 23)$$

Nun gilt:

$$21) - 23): \quad (a_1 - a_3) \cdot \tau'' = 4(\varepsilon + f), \quad \text{also} \quad \varepsilon + f = \frac{\tau''}{4} \cdot (a_1 - a_3) \qquad 24)$$

$$21) + 22): \quad (a_1 + a_2) \cdot \tau'' = 2(v + \varphi), \quad \text{also} \quad v + \varphi = \frac{\tau''}{2} \cdot (a_1 + a_2). \qquad 25)$$

Mithin wird:

$$\underline{\beta} \overset{20)}{=} \frac{\tau''}{4} \cdot (2a_1 + 2a_2 + a_1 - a_3) = \underline{\frac{\tau''}{4} \cdot (3a_1 + 2a_2 - a_3)} \qquad 26)$$

Durch diese Gleichung wird der Neigungswinkel der Achse definiert.

Für horizontale Achsen muß

$$\underline{\beta = 0}, \quad \text{also} \quad \underline{3a_1 + 2a_2 - a_3 = 0} \qquad 27)$$

sein.

Die Formel 26) liefert $\beta \gtrless 0$, je nachdem das linke Achsenende $\binom{\text{tiefer}}{\text{höher}}$ liegt als das rechte, wenn allgemein der Libellenausschlag $a = \frac{1}{2}(r - l)$ gesetzt wird, wobei $\binom{r \text{ die Ablesung am rechten}}{l \text{ „ „ „ linken}}$ Blasenrande bedeutet.

Um die Horizontierung der Achse zu bewerkstelligen, kehre man zur Anfangslage (Abb. 1) zurück, überzeuge sich, ob die Libellenablesung a_1 unverändert erhalten blieb und hebe bzw. senke das linke Achsenende um den errechneten Winkel β.

Nach der Berichtigung muß die Libellenhaupttangente mit dem Horizonte einen Winkel α_1' einschließen, der bestimmt ist durch die Gleichung:

$$\alpha_1' = a_1' \cdot \tau'' = \alpha_1 - \beta = a_1 \cdot \tau'' - \frac{\tau''}{4} \cdot (3a_1 + 2a_2 - a_3) = \frac{\tau''}{4} \cdot (a_1 - 2a_2 + a_3). \qquad 28)$$

Würde man, ausgehend von dieser Anfangslage, den Prüfungsvorgang wiederholen, dann erhielte man als Neigungswinkel der Haupttangente in der zweiten bzw. dritten Lage die Werte:

$$\alpha_2' = a_2' \cdot \tau'' = \alpha_2 - \beta = a_2 \cdot \tau'' - \frac{\tau''}{4} \cdot (3a_1 + 2a_2 - a_3) = \frac{\tau''}{4} \cdot (-3a_1 + 2a_2 + a_3); \qquad 29)$$

$$\alpha_3' = a_3' \cdot \tau = \alpha_3 - \beta = a_3 \cdot \tau'' - \frac{\tau''}{4} \cdot (3a_1 + 2a_2 - a_3) = \frac{\tau''}{4} \cdot (-3a_1 - 2a_2 + 5a_3). \qquad 30)$$

Somit wird:

$$a_1' = \tfrac{1}{4}(a_1 - 2\,a_2 + a_3),$$
$$a_2' = \tfrac{1}{4}(-\,3\,a_1 + 2\,a_2 + a_3),$$
$$a_3' = \tfrac{1}{4}(-\,3\,a_1 - 2\,a_2 + 5\,a_3),$$

und diese Werte genügen in der Tat der Bedingung 27); denn es wird:

$$3\,a_1' + 2\,a_2' - a_3' = \tfrac{1}{4}(3\,a_1 - 6\,a_2 + 3\,a_3 - 6\,a_1 + 4\,a_2 + 2\,a_3 + 3\,a_1 + 2\,a_2 - 5\,a_3) = 0. \qquad 31)$$

Mithin ist die Achse genau horizontal.

Das heißt: Man hat zwecks Rektifikation bzw. zwecks Horizontierung der Achse, ausgehend von der Anfangsstellung, das linke Achsenende so lange zu heben bzw. zu senken, bis sich die Libellenablesung

$$\underline{a_1' = \tfrac{1}{4}(a_1 - 2\,a_2 + a_3)}$$

ergibt.

Bemerkungen über die Prüfung bzw. Rektifikation von Doppelschlifflibellen.

Nach dem oben angegebenen Verfahren kann man Achsen so genau horizontieren, als die Empfindlichkeit der zur Horizontierung verwendeten Libellen überhaupt zuläßt.

Es liegt daher auf der Hand, daß dieses Verfahren die Möglichkeit bietet, Doppelschlifflibellen auf die Parallelität ihrer Haupttangenten zu untersuchen, und zwar entweder mit einem eigens zu diesem Zwecke erbauten Reversionslibellenprüfer, oder aber, was für den Praktiker noch wünschenswerter wäre, unmittelbar am Nivellierinstrumente selbst.

Zu diesem Zwecke könnte jedem Nivellierfernrohre mit Reversionslibelle auch noch eine freie Aufsatzlibelle beigegeben werden, deren Füße den Lagern kongruent gebaut sein müßten und auf die Fernrohrringe paßten.

Mit dieser Libelle, welche mindestens den gleichen, besser aber noch einen kleineren Winkelwert haben muß als die zu prüfende Doppelschlifflibelle, wäre die Fernrohrachse nach dem oben angegebenen Verfahren zu horizontieren.

Hernach wäre die Blase am oberen Schliff der Reversionslibelle mit ihrem Korrektionsschräubchen genau zum Einspielen zu bringen und schließlich das Fernrohr um seine horizontale Achse um 180^0 zu wälzen.

Spielt nach der Wälzung die Libellenblase am zweiten Schliffe der Reversionslibelle ebenfalls ein, dann sind die Haupttangenten der Reversionslibelle zueinander parallel.

Zeigt dagegen die Libellenblase nach der Wälzung einen Ausschlag a, dann wird der Winkel zwischen den Haupttangenten der Libelle, der mit δ bezeichnet werden möge, bestimmt durch die Gleichung:

$$\delta = a \cdot \tau'', \qquad 32)$$

wenn τ den Winkelwert der Reversionslibelle bedeutet.

Ist nun die Skala am zweiten Libellenschliffe durch eine Mikrometerschraube verstellbar, dann kann der Libellenfehler δ dadurch beseitigt werden, daß man den ganzen Libellenausschlag a durch Skalenverschiebung zum Verschwinden bringt.

In Abbildung 2 ist eine derartige rektifizierbare Doppelschlifflibelle schematisch dargestellt. Ihre wesentlichen Bestandteile, welche durch Buchstaben gekennzeichnet wurden, sind:

L die eigentliche Libelle, welche auf ihrem oberen Schliffe die gewöhnliche Teilung trägt, bezüglich welcher ich es für zweckmäßig halte, den Nullpunkt durch einen längeren mit 0 bezeichneten Strich zu charakterisieren, und nicht durch 2 Striche in einem willkürlichen Abstand voneinander, wie man das meistens findet.
Der untere Libellenschliff trägt keine Teilung!

F die Fassung der Libellenenden (ganz schematisiert).

H der Metallmantel, welcher den Libellenkörper als Schutzhülle umschließt.

D ein Deckrohr aus Glas, das über das Libellenrohr geschoben wird und auf demselben leicht verstellbar sein muß. — Dieses Deckrohr trägt auf seiner Innenfläche die zweite Libellenteilung, und zwar deshalb auf der Innenfläche, weil dadurch parallaxfreie Ablesungen erhalten werden können, denen dieselbe Genauigkeit zukommt, wie den Ablesungen auf der oberen Normalskala der Libelle.

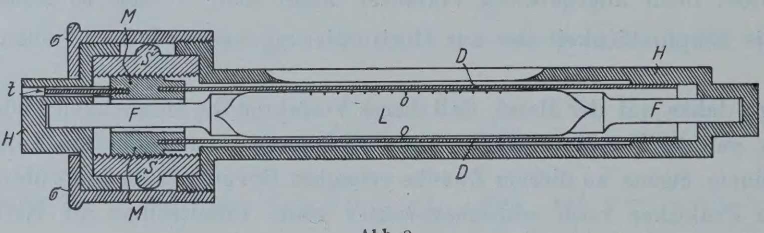


Abb. 2.

M zylindrische Metallfassungen am linken Ende des Deckrohres. Diese Metallfassung trägt an ihrer äußeren Mantelfläche ein kurzes Schraubengewinde von kleiner Ganghöhe und an ihrer linken Stirnseite einen Dorn *t*.

S die eigentliche Rektifikationsschraube, welche aus einem kurzen Metallzylinder besteht, der auf seiner Innenfläche das Muttergewinde zu dem auf *M* geschnittenen Schraubengewinde aufweist.

σ ein Schutzmantel, der nach vollzogener Rektifikation an den Metallmantel *H* der Libelle angeschraubt wird, und den Zweck hat, unerwünschte Berührungen der Rektifikationsvorrichtung zu verhindern.

Die in Abbildung 2 dargestellte Libelle wäre noch an ihrem Außenmantel mit einer der üblichen Korrektionsvorrichtungen zu versehen, welche es ermöglichen, ihre untereinander parallelen Haupttangenten zu einer bestimmten Geraden parallel oder normal zu stellen, und erst dann durch Schrauben mit dem Instrumente zu verbinden, dessen Bestandteil sie sein soll.

Die Wirkungsweise der in Abbildung 2 dargestellten Rektifikationsvorrichtung der Doppelschlifflibelle ist wohl ohne weiteres klar.

Die Berichtigung erfolgt durch Verschiebung des Deckrohres *D* am Libellenrohre durch Betätigung der Rektifikationsschraube *S*. — Wird nämlich diese Schraube gedreht, dann verschiebt sich das Deckrohr am Libellenrohre entlang, ohne sich selbst zu drehen, weil die Drehung des Deckrohres durch den Dorn *t* verhindert wird.

Man kann also durch Betätigung der Rektifikationsschraube *S* den in 32) erwähnten Libellenausschlag *a* beseitigen und damit den Libellenfehler $\delta = 0$ machen.

Was schließlich den Reversionslibellenprüfer anbelangt, müßte derselbe im Prinzip aus einer ziemlich massiven, genau zylindrisch abgedrehten Achse bestehen, welche

in ihren auf Trägern montierten Lagern, mit Hilfe einer einfachen, aber sehr empfindlichen Setzlibelle von möglichst kleinem Winkelwerte genau horizontiert werden könnte.

Die Lager selbst wären am besten einfache Schneidenlager; die Lagerträger könnten so wie bei Justierbrettern auf einer massiven Standplatte montiert sein, deren Neigung mit einer Stellschraube regulierbar einzurichten wäre.

Auf der Achse müßten zwei, etwa mit Bremsringen klemmbare, auf beliebige Abstände einstellbare Hängeträger montiert werden, von denen der eine mit einer Hebe- und Senkvorrichtung auszustatten wäre.

Die unteren Enden bzw. „Köpfe“ der Hängeträger müßten mit einfachen Vorrichtungen versehen werden, welche es möglich machen, die zu untersuchenden Reversionslibellen einzulegen und festzuklemmen.

Da nun die Haupttangenten einer so eingelegten und geklemmten Reversionslibelle zur Vertikalebene der Achse der Prüfungsvorrichtung parallel sein sollen, so muß der eine der beiden Trägerköpfe mit einer horizontalen Schlittenführung normal zur „Achsenrichtung versehen werden, um die Beseitigung einer eventuell vorhandenen Achsenkreuzung“ zu ermöglichen

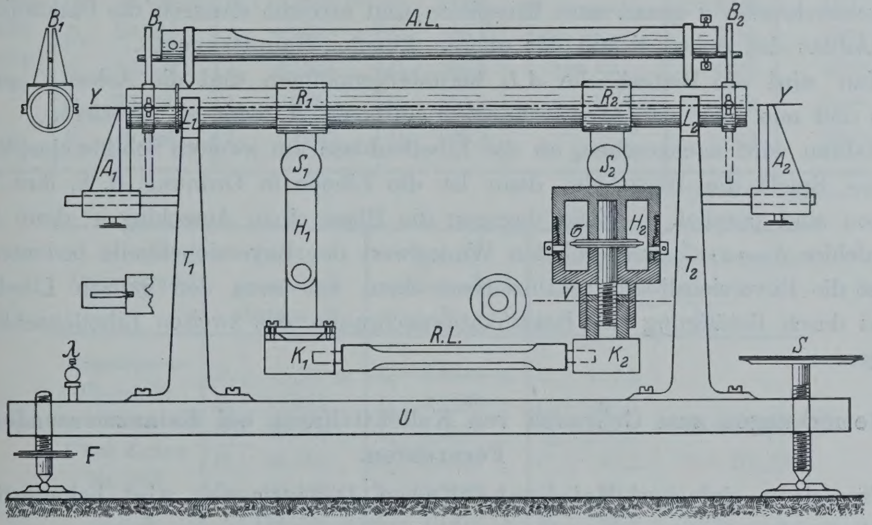


Abb. 3.

In Abbildung 3 ist ein solcher Reversionslibellen-Prüfungsapparat schematisch dargestelllt worden.

Die Bedeutung der Buchstaben ist wie folgt:

YY die zylindrische, massive Achse des Apparates.

T_1, T_2 sind die Achsenträger, mit den Achsenlagern L_1, L_2.

U ist die Standplatte der Träger, deren Neigungswinkel gegen den Horizont mit der Fußstellschraube S variiert werden kann.

H_1, H_2 sind die auf der Y-Achse aufgeschobenen Hängeträger, welche mit den Bremsringen R_1, R_2 durch Betätigung der Klemmschrauben S_1, S_2 von beliebigen Stellen der Y-Achse festgeklemmt werden können.

K_1, K_2 sind die Köpfe der Hängeträger, deren linker eine Schlittenführung mit Feinbewegung, senkrecht zur Vertikalebene der Y-Achse hat.

σ ist die Feinstellschraube der am rechten Hängeträger angebrachten Hebe- und Senkvorrichtung V.

A_1, A_2 sind Arretierungsvorrichtungen gegen Drehung der Y-Achse. Dieselben wirken durch Einschiebung ihrer Schneidenkante in einen vertikalen Spalt an den Stirnseiten der Achse.

B_1, B_2 sind Libellenhalter, welche das Herabfallen der Reiterlibelle von der Achse verhindern.

$A\,L$ ist die Reiterlibelle mit Schneidenauflagerung.

$R\,L$ ist die zu prüfende, in die Köpfe der Hängeträger eingelegte Reversionslibelle.

Der Prüfungsvorgang selbst ist folgender:

Man legt die Reversionslibelle $R\,L$ in die Hängeträgerköpfe ein und klemmt sie fest. Sodann horizontiert man die Querrichtung der Standplatte (normal zur Achse) mit der kleinen, auf der Standplatte selbst montierten Libelle λ, unter Benutzung der Fußstellschrauben F.

Hernach horizontiert man die Y-Achse nach dem früher besprochenen Vorgange mit Hilfe der Reiterlibelle $A\,L$ so genau diese empfindliche Libelle es gestattet. Zur Neigungsänderung der Achse betätigt man die Stellschraube S.

Ist das geschehen, dann bringt man die eingelegte Reversionslibelle mittels der Mikrometerschraube σ genau zum Einspielen und erreicht dadurch die Parallelität und Horizontalität der Achse Y und der oberen Libellen-Haupttangente.

Nun wird die Reiterlibelle $A\,L$ heruntergenommen und die Achse Y um 180^0 gewälzt und mit einer der Arretierungsvorrichtungen A_1 oder A_2 arretiert.

Sodann wird nachgesehen, ob die Libellenblase am zweiten Schliffe einspielt oder nicht. — Spielt die Blase ein, dann ist die Libelle in Ordnung, d. h. ihre Haupttangenten sind parallel. — Zeigt dagegen die Blase einen Ausschlag a, dann ist der Libellenfehler $\delta = a \cdot \tau''$, wenn τ'' den Winkelwert der Reversionslibelle bedeutet.

Ist die Reversionslibelle rektifizierbar, dann hat man den ganzen Libellenausschlag a durch Betätigung der Rektifikationsschraube des zweiten Libellenschliffes zu beseitigen.

Bemerkungen zum Gebrauch von Kollektivlinsen bei distanzmessenden Fernrohren.

Für einen einfachen Reichenbachschen Distanzmesser wird bekanntlich die Multiplikationskonstante

$$C = \frac{F}{B},$$

wobei F die Objektivbrennweite und B die durch den Fadenabstand bedingte konstante Bildgröße ist.

Bei allen solchen normal gebauten Distanzmessern lautet die Distanzgleichung für eine zur Mittelvisur normale Latte

$$D = C\,L + c,$$

wenn L den Lattenabschnitt und c die Additionskonstante bedeutet.

Wird nun in einem solchen Fernrohre eine Kollektivlinse eingeschaltet, die in der Regel den Zweck hat, den „äußeren Parallaxentrieb“ durch einen sogenannten „inneren Parallaxentrieb“ zu ersetzen, dann wird zweifellos die Mittelvisur sicherer als beim äußeren Parallaxentriebe, weil bei dem letzteren zumindest für kurze Zielweiten ein merkliches Schlottern des Fadenkreuzes eintritt.

Dagegen tritt beim inneren Parallaxentriebe eine merkliche Veränderung der Multiplikationskonstanten C ein, welche die Grenze, die durch unvermeidliche Beob-

achtungsfehler bedingt wird, weitaus überschreitet, wie aus nachstehenden Tabellen ersichtlich ist.

Aus eben diesem Grunde glaube ich, daß es besser wäre, bei den distanzmessenden Fernrohren den „inneren Parallaxentrieb" lieber zu vermeiden, zumindest von der üblichen Form unter Zuhilfenahme einer Kollektivlinse abzusehen.

Besser wäre ein „innerer Trieb", der das Fadenkreuz betätigt, und ein entsprechender Ausbau des Okulars, unabhängig vom Fadenkreuztriebe.

In den nachstehenden Tabellen wird der Repetitionstheodolit Nr. 32126 von Breithaupt, dem Repetitionstheodolit Nr. 345 von Carl Zeiss und einem Tachymetertheodoliten von Wagner-Fennel vergleichsweise gegenübergestellt. Ersterer besitzt kein Kollektiv; die beiden letzteren Instrumente dagegen sind mit Kollektivlinsen ausgestattet.

Instrument	Direkt gemessene Distanz D		Latten-abschnitt L		Multiplikations-Konstante: $C = \frac{D - c}{L}$			Verbessg. v	$v\,v$
Repetitions-	D_1	5,124 m	L_1	0,0488 m	C_1	100,3	Mittelwert: $C \doteq 100{\cdot}28$	— 0,02	$10^{-4}\cdot\ 4$
Theodolit	D_2	20,560 „	L_2	0,2030 „	C_2	100,1	Mittl. Fehler	0,18	$10^{-4}\cdot 324$
Breithaupt	D_3	53,570 „	L_3	0,5303 „	C_3	100,5	von C:	— 0,22	$10^{-4}\cdot 484$
Nr. 32126	D_4	97,150 „	L_4	0,9668 „	C_4	100,3	$m = \pm\sqrt{\frac{[v\,v]}{4}}$	— 0,02	$10^{-4}\cdot\ 4$
$c \doteq 0$ cm	D_5	119,880 „	L_5	1,1937 „	C_5	100,2	$\doteq \pm\ 0{,}15$	0,08	$10^{-4}\cdot\ 64$
								$[v] = 0$	$[v\,v] = 10^{-4}\cdot 880$

Instrument	Direkt gemessene Distanz D		Latten-abschnitt L		Multiplikations-Konstante: $C = \frac{D - c}{L}$		
Repetitions-	D_1	5,250 m	L_1	0,0513 m	C_1	102,3	
Theodolit	D_2	11,993 „	L_2	0,1189 „	C_2	100,9	
von	D_3	29,150 „	L_3	0,2909 „	C_3	100,3	Mittelwert
Carl Zeiss	D_4	56,050 „	L_4	0,5650 „	C_4	99,2	$C \doteq 100{,}23$
Nr. 345	D_5	90,250 „	L_5	0,9080 „	C_5	99,4	
$c \doteq 0$	D_6	113,000 „	L_6	1,1370 „	C_6	99,3	

Instrument	Direkt gemessene Distanz D		Latten-abschnitt L		Multiplikations-Konstante: $C = \frac{D - c}{L}$		
Tachymeter-Theodolit	D_1	10,00 m	L_1	0,0940 m	C_1	100,0	
von	D_2	30,00 „	L_2	0,2960 „	C_2	99,3	Mittelwert
Wagner-Fennel	D_3	50,00 „	L_3	0,4990 „	C_3	99,0	$C \doteq 99{,}28$
$c \doteq 60$ cm	D_4	200,00 „	L_4	2,0180 „	C_4	98,8	

Die Beobachtungen für obige Tabellen wurden nicht mit gewöhnlichen Nivellierlatten durchgeführt, sondern für kurze Entfernungen mit in mm unterteilten Metalllinealen, für größere Entfernungen mit Zielscheiben, die grell beleuchtet und sehr scharf eingestellt wurden. — Daher sind auch die Lattenabschnitte auf Zehntelmillimeter angegeben.

Wie man aus der ersten Tabelle (Breithaupt) erkennt, wird infolge unvermeidlicher Beobachtungsfehler eine Veränderlichkeit von C bedingt, welche den Wert von 0,5 nicht einmal erreicht, während die beiden anderen Tabellen zeigen, daß die Kollektivlinse die Veränderlichkeit von C mehr als verdoppelt.

Zu bemerken wäre noch, daß beim Wagner-Fennelschen Tachymeter-Theodolit in der zugeordneten Originalabhandlung von A. Fennel ausdrücklich betont wird, daß die Einschaltung der Kollektivlinse den Zweck habe, die Multiplikationskonstante C rektifizierbar zu gestalten.

Diese Anschauung ist nicht zutreffend, wie schon aus den obigen Tabellen unmittelbar hervorgeht, wie aber auch die Gleichung zeigt, welche die resultierende Brennweite zweier, im Abstande Δ voneinander montierter Linsen mit den Einzelbrennweiten F_1 und F_2 ergibt.

Diese Gleichung lautet bekanntlich:

$$F = \frac{F_1 \cdot F_2}{F_1 + F_2 - \Delta},$$

und es ist klar, daß F und damit auch die Multiplikationskonstante $C = \frac{F}{B}$ bei konstanter Bildgröße B variabel sein muß, wenn Δ veränderlich ist.

Beim Wagner-Fennelschen Tachymetertheodoliten ist aber Δ tatsächlich veränderlich, weil die Kollektivlinse irrtümlicherweise im Parallaxenrohre eingebaut wurde, das gegenüber der Objektivlinse für jede Distanz eine andere Stellung einnimmt.

Nichtsdestoweniger ist die Idee einer Rektifikation der Multiplikationskonstanten C mit Hilfe einer Kollektivlinse ganz ausgezeichnet; nur muß dann diese Kollektivlinse einen eigenen Kollektivtrieb haben und vom Parallaxentriebe unabhängig sein.

Die Umrechnung von schief gemessenen Längen auf die Horizontale bei Grundlinienmessung mit Drähten.

Von

P. Werkmeister in Dresden.

Bei der Messung von Grundlinien mit Invardrähten nach dem von Jäderin angegebenen Verfahren muß man bekanntlich an jeder Drahtlage zu ihrer Umrechnung auf die Horizontale eine Verbesserung anbringen. Ist s die mit einem Draht gemessene Länge zwischen zwei Marken und h deren Höhenunterschied, so erhält man die Verbesserung v aus

$$v = \frac{h^2}{2s} - \frac{h^4}{8s^3} + - \cdots \qquad 1)$$

In dieser Gleichung ist der Wert des zweiten Gliedes der rechten Seite bei einer Drahtlänge von rund 24 m und einem Höhenunterschied h von 0,8 m erst 0,004 mm, so daß man also bis etwa $h = 0{,}8$ m v nach der Näherungsformel $v = \frac{h^2}{2s}$ berechnen kann. Eine Zahlentafel für diese Formel ist enthalten in einer von der früheren Preußischen Landesaufnahme bearbeiteten Anweisung [1]); diese Tafel geht in h bis zu 2 m und liefert die Verbesserung v für s zwischen 23,95 m und 24,05 m. Die Tafel reicht

---

[1]) Anweisung für die Messung von Grundlinien mit Invardrähten. Reichsdruckerei Berlin 1914.

im allgemeinen für s aus; sie hat aber die Unbequemlichkeit der kreuzweisen Interpolation. Mit Rücksicht hierauf hat E. Harbert [1]) eine aus drei Teilen bestehende Tafel veröffentlicht; sie beruht auf der Gleichung

$$v = v_1 + v_2 \pm v_3, \text{ wobei } v_1 = \frac{h^2}{2s_0}, \; v_2 = \frac{h^4}{8s_0^3} \text{ und } v_3 = \frac{h^2}{2s_0^2} \triangle s.$$

Die neue Tafel enthält die drei v-Werte je auf 0,001 mm genau für $s_0 = 24{,}000$ m; bei h geht die Tafel bis 2,00 m und bei $\triangle s$ bis 80 mm, so daß sie für alle praktisch denkbaren Fälle ausreicht. Zu dieser Tafel ist zu bemerken, daß man den auf v_2 und v_3 sich beziehenden Teilen die Form von graphischen Tafeln geben könnte.

Da man im allgemeinen das Gelände für eine Grundlinie so wählt, daß die Höhenunterschiede zwischen zwei aufeinanderfolgenden Punkten nicht größer als 0,8 m sind, so kann man fast immer in der Gleichung 1) auf der rechten Seite das zweite Glied vernachlässigen; in solchen Fällen kann man aber die Summe v der den einzelnen Drahtlängen entsprechenden Verbesserungen $v_1, v_2 \ldots v_n$ auf einmal berechnen. Sind $h_1, h_2 \ldots h_n$ die Höhenunterschiede und $s_1, s_2 \ldots s_n$ die Längen der einzelnen Teilstrecken, so ist

$$v = v_1 + v_2 + \ldots + v_n = \frac{h_1^2}{2s_1} + \frac{h_2^2}{2s_2} + \ldots + \frac{h_n^2}{2s_n}.$$

Setzt man $s_1 = s_0 + \triangle s_1, \; s_2 = s_0 + \triangle s_2 \ldots s_n = s_0 + \triangle s_n$, so wird

$$v = \frac{h_1^2}{2(s_0 + \triangle s_1)} + \frac{h_2^2}{2(s_0 + \triangle s_2)} + \ldots + \frac{h_n^2}{2(s_0 + \triangle s_n)},$$

oder

$$v = \frac{h_1^2}{2s_0\left(1 + \frac{\triangle s_1}{s_0}\right)} + \frac{h_2^2}{2s_0\left(1 + \frac{\triangle s_2}{s_0}\right)} + \ldots + \frac{h_n^2}{2s_0\left(1 + \frac{\triangle s_n}{s_0}\right)};$$

hierfür darf man aber — wie sich einfach zeigen läßt — mit genügender Genauigkeit schreiben

$$v = \frac{h_1^2}{2s_0}\left(1 - \frac{\triangle s_1}{s_0}\right) + \frac{h_2^2}{2s_0}\left(1 - \frac{\triangle s_2}{s_0}\right) + \ldots + \frac{h_n^2}{2s_0}\left(1 - \frac{\triangle s_n}{s_0}\right).$$

Damit findet man die Gleichung

$$v = \frac{h_1^2 + h_2^2 + \ldots + h_n^2}{2s_0} - \frac{h_1^2 \triangle s_1 + h_2^2 \triangle s_2 + \ldots + h_n^2 \triangle s_n}{2s_0^2},$$

in der man s_0 so wählen kann, daß das zweite Glied auf der rechten Seite verschwindet. Setzt man

$$s_0 = \frac{h_1^2 s_1 + h_2^2 s_2 + \ldots + h_n^2 s_n}{h_1^2 + h_2^2 + \ldots + h_n^2},$$

so wird, wie sich einfach zeigen läßt, $h_1^2 \triangle s_1 + h_2^2 \triangle s_2 + \ldots + h_n^2 \triangle s_n = 0$. Man hat also dann zur Berechnung der Gesamtverbesserung v die Gleichung

$$v = \frac{(h_1^2 + h_2^2 + \ldots + h_n^2)^2}{2(h_1^2 s_1 + h_2^2 s_2 + \ldots + h_n^2 s_n)}. \qquad 2)$$

Berechnet man die Verbesserungen $v_1, v_2 \ldots v_n$ der einzelnen Teilstrecken mit Benützung der von E. Harbert entworfenen Tafel, so erhält man eine wertvolle Probe durch Berechnung der Gesamtverbesserung v auf Grund der Gleichung 2). Die Berechnung von v läßt sich mit Hilfe einer Quadrattafel und einer Rechenmaschine in einfacher Weise durchführen.

---

[1]) Vgl. Tafeln für die Horizontalreduktion bei Grundlinienmessung mit Invardrähten. *Allg. Vermessungsnachr. 1927 S. 141.*

Integration vermittels des Kurvimeters.

(Dritte Mitteilung.)

Von
Hans Schwerdtfeger in Göttingen.

In zwei früheren Mitteilungen[1]) wurden bereits Methoden angegeben, nach denen man in besonderen Fällen Quadraturen im wesentlichen auf Längenmessungen vermittels eines Kurvimeters zurückführen kann. Die weitere im folgenden zu besprechende Methode ist die umfassendste; sie enthält die früheren als Sonderfälle. Das ihr zugrundeliegende Prinzip ist wieder dasselbe: Es handelt sich um die Ermittlung einer gewissen Funktion, deren graphisches Bild die zu messende Kurve ist. Man bemerkt, daß diese Funktion und die Art und Weise, wie man durch Rechnung zu ihr gelangt, immer eine andere sein wird, je nachdem welches Koordinatensystem man für die Darstellung der Bildkurve verwenden will; man kann also den Gang der Rechnung wesentlich durch die Wahl des Koordinatensystems beeinflußen. Um in dieser Hinsicht in den zu entwickelnden Formeln die denkbar größte Freiheit zu haben, betrachten wir sogleich den Fall der allgemeinsten krummlinigen Koordinaten in der Ebene. An die Stelle der einander überall rechtwinklig schneidenden Geradenscharen der rechtwinkligen Parallelkoordinaten treten dann zwei einander im allgemeinen unter von Ort zu Ort verschiedenen Winkeln schneidende einparametrige Kurvenscharen, die man sich unter Zugrundelegung eines beliebigen rechtwinkligen kartesischen Koordinatensystems x, y durch zwei gewöhnliche Differentialgleichungen erster Ordnung gegeben denken kann[2]); durch Integration derselben kommt man dann, unter ξ, η zwei willkürliche Parameter verstanden, zu zwei Gleichungen von der allgemeinen Form

$$\Phi(x, y) = \xi, \qquad \Psi(x, y) = \eta, \tag{1)}$$

durch deren jede eine der beiden Scharen dargestellt wird. Die Größen ξ, η sind es, die wir in diesem Zusammenhang als die **k r u m m l i n i g e n K o o r d i n a t e n** bezeichnen. Über die Funktionen Φ und Ψ müssen wir die folgenden einschränkenden Voraussetzungen treffen: In gewissen vorgegebenen Intervallen der Veränderlichen sollen I. die beiden Gleichungen 1) eindeutige Lösungen nach x, y besitzen, so daß man schreiben kann

$$x = \varphi(\xi, \eta), \qquad y = \psi(\xi, \eta); \tag{2)}$$

II. die beiden Umkehrfunktionen durchweg zweimal stetig differenzierbar sein, III. soll die Funktionaldeterminante

$$\frac{\partial(\varphi, \psi)}{\partial(\xi, \eta)} \neq 0 \tag{3)}$$

sein.

Das Erfülltsein dieser Forderungen genügt jedoch noch nicht, um das durch die Gleichungen 1) bestimmte krummlinige Koordinatensystem für unsere Zwecke anwend-

---

[1]) *Diese Zeitschr.* **47**. *S. 554. 1927 u.* **28.** *S. 125. 1928.* Im folgenden durch I und II zitiert.

[2]) Die evtl. vorhandenen singulären Lösungen sind im allgemeinen außer Acht zu lassen, so daß also durch jeden Punkt des in Frage kommenden Gebiets der Ebene gerade eine und auch nur eine Kurve jeder Schaar geht. In dem schon früher besprochenen Falle der Polarkoordinaten (vgl. II) würden die beiden Differentialgleichungen lauten:

$$yy' + x = 0$$
$$xy' - y = 0.$$

Die zu messende Kurve darf hier den Nullpunkt nicht enthalten.

bar zu machen. Vielmehr sind noch zwei weitere Forderungen von Bedeutung, die wir nun zunächst formulieren werden.

Erstens müssen wir nämlich von den Funktionen Φ, Ψ verlangen, daß sie so beschaffen sind, daß das durch sie definierte Kurvennetz in einem gewissen vorgegebenen Bereich nur reelle Schnittpunkte besitzt, da naturgemäß die imaginären Schnittpunkte, die evtl. auch existieren könnten, für unsere Betrachtungen völlig bedeutungslos sind; sie lassen sich doch in der Zeichnung nicht veranschaulichen. Verstehen wir also unter ξ_0, η_0 je einen bestimmt ausgewählten Wert von ξ bzw. η, so dürfen in einem gewissen, für ξ_0, η_0 vorgeschriebenen Bereich die beiden Gleichungen

$$\Phi(x, y) = \xi_0, \qquad \Psi(x, y) = \eta_0$$

nur reelle Werte x, y als Lösungen besitzen.

Zweitens haben wir zu untersuchen, wann die beiden Funktionen Φ, Ψ — oder auch die Funktionen φ, ψ — so beschaffen sind, daß zu den durch sie definierten krummlinigen Koordinaten ein gewisses bestimmt vorgegebenes Bogenelement, ds, gehört. Die hierauf bezugnehmenden Bedingungen sind zu formulieren. Da diese Bedingungen an sich gut bekannt sind, begnügen wir uns hier mit einer kurzen Skizzierung des Rechnungsganges[1]).

Vermittels der Gaußschen Fundamentalgrößen

$$\left.\begin{aligned} E &= \varphi_1^2 + \psi_1^2 \\ F &= \varphi_1 \varphi_2 + \psi_1 \psi_2 \\ G &= \varphi_2^2 + \psi_2^2 \end{aligned}\right\} \qquad 4)$$

mit

$$\varphi_1 = \frac{\partial \varphi(\xi, \eta)}{\partial \xi}, \qquad \varphi_2 = \frac{\partial \varphi(\xi, \eta)}{\partial \eta}, \ldots$$

schreiben wir das Bogenelementquadrat in unserem krummlinigen Koordinatensystem in der bekannten einfachen Form

$$ds^2 = E\,d\xi^2 + 2\,F\,d\xi\,d\eta + G\,d\eta^2. \qquad 5)$$

(Den schon in (II) betrachteten Fall der Polarkoordinaten erhalten wir hieraus, indem wir

$$E = 1, \qquad F = 0, \qquad G = \xi^2$$

setzen.) Unsere zu untersuchende Frage können wir nun auch so stellen: Wann erfüllen die Funktionen φ, ψ gleichzeitig die drei Gleichungen 4), wenn die Funktionen E, F, G durch 5) vorgegeben sind? Da die Diskriminante der quadratischen Differentialform 5)

$$EG - F^2 = (\varphi_1 \psi_2 - \varphi_2 \psi_1)^2 \qquad 6)$$

ist, so ist ihr Nichtverschwinden bereits durch 3) gewährleistet, stellt also hier keine besondere Bedingung mehr dar.

Zur bequemen Herleitung der gesuchten Bedingung wollen wir unter u, v zwei noch unbekannte Funktionen verstehen, für die wir (mit Rücksicht auf 4)) die vier Gleichungen

$$\left.\begin{aligned} \varphi_1 &= \sqrt{E}\cos u, & \varphi_2 &= \sqrt{G}\cos v \\ \psi_1 &= \sqrt{E}\sin u, & \psi_2 &= \sqrt{G}\sin v \end{aligned}\right\} \qquad 7)$$

ansetzen[2]); dann wird außerdem

$$F = \sqrt{E}\sqrt{G}\cos(u - v), \qquad \pm\sqrt{EG - F^2} = \sqrt{E}\sqrt{G}\sin(u - v), \qquad 8)$$

[1]) Vgl. G. Scheffers, „Einführung in die Theorie der Kurven in der Ebene und im Raume" (Anwendung der Differential- und Integralrechnung auf Geometrie, Bd. I) 2. Aufl. 1910, S. 143 ff.

[2]) Durch $\sqrt{E}$, $\sqrt{G}$ sollen hier die positiven Werte dieser Quadratwurzeln angedeutet werden.

worin das doppelte Vorzeichen Doppeldeutigkeit des Problems bedingt. Wegen 7) kann man ferner schreiben

$$d\varphi = \sqrt{E}\cos u\, d\xi + \sqrt{G}\cos v\, d\eta$$
$$d\psi = \sqrt{E}\sin u\, d\xi + \sqrt{G}\sin v\, d\eta,$$

und sehen wir dann einmal u, v schon als bekannt an, so kann man die Funktionen φ, ψ nur dann aus diesen beiden Gleichungen ermitteln, wenn die beiden folgenden erfüllt sind:

$$\frac{\partial(\sqrt{E}\cos u)}{\partial\eta} = \frac{\partial(\sqrt{G}\cos v)}{\partial\xi}, \qquad \frac{\partial(\sqrt{E}\sin u)}{\partial\eta} = \frac{\partial(\sqrt{G}\sin v)}{\partial\xi}. \tag{9}$$

Nun kann man einmal aus 8) die Größe $u - v$ berechnen bis auf ein ganzzahliges Vielfaches von 2π. Ferner kann man nach Ausführung der Differentiation und einfacher Umrechnung die Bedingungen 9) auch schreiben in der Form (mit Rücksicht auf die zweite Gl. 8) [1]):

$$\frac{E_2}{2\sqrt{E}} = \frac{G_1}{2\sqrt{G}}\cos(u-v) + v_1\sqrt{G}\sin(u-v)$$
$$\frac{G_1}{2\sqrt{G}} = \frac{E_2}{2\sqrt{E}}\cos(u-v) + u_2\sqrt{E}\sin(u-v),$$

und dies sind vereinigt mit 8) im wesentlichen die gesuchten Bedingungen, aus denen wir nur noch die Größen u, v zu eliminieren haben. Dies führt dann, nachdem man auch einen Ansatz für $u + v$ gemacht hat, zu der Gleichung

$$\frac{\partial}{\partial\eta}\left\{\frac{E_1FG - G_1FE + 2(E_2 - F_1)EG}{EG\sqrt{EG - F^2}}\right\} + \frac{\partial}{\partial\xi}\left\{\frac{G_2FE - E_2FG + 2(G_1 - F_2)EG}{EG\sqrt{EG - F^2}}\right\} = 0,$$

woraus nach Ausführung der Differentiationen die folgende Bedingung sich ergibt:

$$\left.\begin{aligned} &2(EG - F^2)(2F_{12} - E_{22} - G_{11}) \\ &+ E(G_1^2 + E_2G_2 - 2G_2F_1) + G(E_2^2 + E_1G_1 - 2E_1F_2) \\ &+ F(E_1G_2 - E_2G_1 - 2F_1G_1 - 2F_2E_2 + 4F_1F_2) = 0. \end{aligned}\right\} \tag{10}$$

Von besonderem Interesse ist der Sonderfall, daß das betrachtete krummlinige Koordinatensystem ein **Orthogonalsystem** ist. Die Bedingung dafür ist, wie leicht zu zeigen ist, in der Gleichung

$$F = 0 \tag{11}$$

enthalten. Für das Bogenelementquadrat ergibt sich daher hier

$$ds^2 = E\,d\xi^2 + G\,d\eta^2, \tag{12}$$

und die Gleichung 10) vereinfacht sich zu

$$2EG(E_{22} + G_{11}) - E(G_1^2 + E_2G_2) - G(E_2^2 + E_1G_1) = 0. \tag{13}$$

Die für die Anwendungen wichtigsten krummlinigen Koordinaten, die elliptischen Koordinaten, bilden ein Orthogonalsystem. Gleichfalls trifft dies, wie aus der oben gemachten Angabe hervorgeht, für die Polarkoordinaten zu.

Nun ist das durch die beiden Funktionen φ, ψ definierte krummlinige Koordinatensystem nicht das einzige, in dem das Bogenelementquadrat die vorgegebene Form hat; vielmehr kann man das zugrundeliegende Kurvennetz noch in beliebiger Weise in der Ebene drehen und verschieben, was aus der Invarianz der Fundamentalgrößen

[1]) Die Indizes $_1$, $_2$ deuten wieder partielle Differentiation nach ξ bzw. η an.

E, F, G gegen lineare Transformationen hervorgeht. Verstehen wir also unter c, c', α drei ganz beliebige Konstanten, so sind die allgemeinsten zu gegebenem Bogenelementquadrat gehörigen krummlinigen Koordinaten demnach bestimmt durch

$$\left.\begin{aligned} X &= \varphi \cos\alpha - \psi \sin\alpha + c \\ Y &= \varphi \sin\alpha - \psi \cos\alpha + c' \end{aligned}\right\}. \qquad 14)$$

Nach diesen vorbereitenden Betrachtungen kommen wir zu dem eigentlichen Problem. In den in (I) und (II) betrachteten Fällen handelte es sich im wesentlichen um die Bestimmung einer Funktion mit einer ganz bestimmten Eigenschaft, während das zugrundegelegte Koordinatensystem vorher festlag. Hier dagegen haben wir zwei Möglichkeiten. Einmal (A) können wir ein bestimmt gewähltes Koordinatensystem annehmen, das wir wieder durch ξ, η angeben, und dann eine zwischen ξ und η bestehende funktionale Beziehung suchen, deren graphisches Bild in einem gewissen Intervall der Länge nach gemessen, gleich dem Wert des zu ermittelnden Integrales ist; dabei ist vorausgesetzt, daß diese Funktion in dem ξ, η-System dargestellt ist. Zweitens (B) können wir auch die zwischen ξ und η bestehende Beziehung fest vorgeben und nur nach dem Koordinatensystem fragen, in dem die graphische Darstellung zu erfolgen hat, damit die betr. Kurve eben die gesuchte Länge in einem gewissen Intervall hat. Wir besprechen die beiden Fälle nacheinander.

A) Zu integrieren sei die Funktion

$$\eta = f(\xi) \qquad 15)$$

in dem Intervall von $\xi = \alpha$ bis $\xi = \beta$. Gesucht ist eine Funktion

$$\eta = g(\xi) \qquad 16)$$

welche in der folgenden Differentialgleichung enthalten ist:

$$f^2(\xi) = \overline{E}(\xi) + 2\,\overline{F}(\xi)\, g'(\xi) + \overline{G}(\xi)\, g'^2(\xi), \qquad 17)$$

worin zur Abkürzung

$$\overline{E}(\xi) = E[\xi, g(\xi)], \qquad \overline{F}(\xi) = F[\xi, g(\xi)] \qquad \overline{G}(\xi) = \ldots$$

gesetzt ist; es sind hier also E, F, G bekannte Funktionen von ξ, η, die zunächst beide als voneinander unabhängig anzusehen sind. Setzen wir voraus, daß ξ, η ein Orthogonalsystem definieren, so vereinfacht sich die Gleichung 17), welche als die Grundgleichung für die Anwendungen anzusehen ist, zu

$$f^2(\xi) = \overline{E}(\xi) + \overline{G}(\xi)\, g'^2(\xi). \qquad 18)$$

Der Strich $'$ bezeichnet hier wie oben eine vollständige Differentiation nach ξ. Im allgemeinen Falle kann man natürlich eine Lösung für die Gleichung 17) oder 18) nur formal angeben und diese nur in speziellen Fällen benutzen; zunächst kann man die Gleichung 17) bzw. 18) schreiben in der Form

$$\left\{F(\xi,\eta) \mp \sqrt{G(\xi,\eta)\cdot f^2(\xi) - [E(\xi,\eta)\cdot G(\xi,\eta) - F^2(\xi,\eta)]}\right\}\cdot d\xi + G(\xi,\eta)\, d\eta = 0 \qquad 17')$$

$$\sqrt{E(\xi,\eta) - f^2(\xi)}\, d\xi + \sqrt{G(\xi,\eta)}\, d\eta = 0, \qquad 18')$$

wenn nun η das Zeichen für die unbekannte Funktion ist. Die praktische Lösbarkeit dieser Gleichungen ist natürlich bedingt durch die Art der darin vorkommenden bekannten Funktionen; allgemein ist die Aufgabe hiermit erledigt, da man vermittels der Methode des integrierenden Faktors prinzipiell im Stande ist, die beiden zuletzt aufgestellten Gleichungen zu lösen auf Grund eines bekannten Satzes, welcher besagt, daß diese Methode hier immer dann zum Ziele führt, wenn auf Grund der allgemeinen Voraussetzungen, welche hinsichtlich der bekannten in den Gleichungen vorkommenden Funktionen erfüllt sein müssen, damit das Existenztheorem Anwendung finden kann, überhaupt ein Integral dieser Gleichungen existiert.

B) Wiederum sei $f(\xi)$ die zu integrierende Funktion. Ferner nehmen wir irgendeine weitere Funktion

$$\eta = h(\xi) \tag{19}$$

an, von der wir nur voraussetzen, daß sie in dem in Frage kommenden Intervall durchweg stetig und einmal stetig differenzierbar ist, eine Bedingung, die sich immer erfüllen läßt[1]); $h(\xi)$ ist die Funktion, deren graphisches Bild in dem noch zu bestimmenden krummlinigen Koordinatensystem ξ, η die zu messende Kurve ist. Nunmehr sind also $\varphi(\xi, \eta)$ und $\psi(\xi, \eta)$ die unbekannten Funktionen, von denen die eine, etwa $\varphi(\xi, \eta)$, in gewisser Weise willkürlich wählbar ist; auf Grund der sofort hinzuschreibenden Formeln muß es eine einmal stetig differenzierbare Funktion sein. Bezeichnen wir nun mit η' die nach 19) berechnete (bekannte) Ableitung von h nach ξ, so können wir zunächst wieder den Ansatz machen:

$$f^2(\xi) = E + 2F\eta' + G\eta'^2.$$

Mit Rücksicht auf 4) können wir diese Gleichung ausführlicher schreiben in der Form

$$\psi_1(\xi, \eta) + \eta' \psi_2(\xi, \eta) = \sqrt{f_2(\xi) - [\varphi_1(\xi, \eta) + \eta' \varphi_2(\xi, \eta)]^2}$$

und daraus folgt

$$d\psi(\xi, \eta) = \sqrt{f^2(\xi) - [\varphi_1(\xi, \eta) + \eta' \varphi_2(\xi, \eta)]^2}\, d\xi.$$

Da ferner die unter dem Wurzelzeichen vorkommende Funktion sich aus lauter bekannten Funktionen zusammensetzt, so kann man die gesuchte Lösung schreiben in der Form

$$\psi(\xi, \eta) = \int \sqrt{f^2(\xi) - [\varphi_1(\xi, \eta) + \eta' \varphi_2(\xi, \eta)]^2}\, d\xi. \tag{20}$$

Damit hat man dann die beiden Funktionen φ, ψ, durch die das krummlinige Koordinatensystem, in dem die fragliche Längenmessung vorzunehmen ist, definiert wird.

Verlangt man aus irgendwelchen Gründen außerdem, daß dieses Koordinatensystem ein Orthogonalsystem ist, so bedingt dies, wie ja auch schon rein äußerlich einleuchtend, eine weitere Einschränkung und demgemäß eine Komplikation der Aufgabe. Man bekommt dann unter Berücksichtigung von 11) für die unbekannte Funktion $\psi(\xi, \eta)$ die folgende Bestimmungsgleichung

$$\left(\frac{\partial \psi}{\partial \xi}\right)^2 + \eta'^2 \left(\frac{\partial \psi}{\partial \eta}\right)^2 = f^2(\xi) - \left[\varphi_2{}^2(\xi, \eta) + \eta'^2 \varphi_2{}^2(\xi, \eta)\right], \tag{21}$$

also eine partielle Differentialgleichung, für deren Lösung man nicht ohne weiteres eine formale Darstellung bekommen kann. Wir sehen hier von einer weiteren Ausführung ab.

Noch einige Bemerkungen zu der Methode im allgemeinen; die wesentliche Schwierigkeit für die praktische Anwendung besteht hier in einer passenden Auswahl gewisser Funktionen, welche so beschaffen sein müssen, daß die allgemeine Integration gewisser Differentialgleichungen sich möglichst widerstandslos bewerkstelligen läßt. Ist diese Integration erst ausgeführt, so ist dadurch das ursprüngliche Quadraturproblem auf eine einfache Längenmessung in dem krummlinigen Koordinatensystem reduziert. In dem in (I) betrachteten Fall hatte die Differentialgleichung die denkbar einfachste Gestalt.

---

[1]) Insbesondere kann $h(\xi)$ eine lineare Funktion sein, die durch sie dargestellte Kurve also eine Gerade; dann ist die Messung besonders einfach, nur mit einem geraden Maßstab, ausführbar.

Zur Vorrechnung von Lichtbildlinsen mit dem Eikonal.

Von
H. Elsner v. Gronow in Göttingen.

K. Schwarzschild hat (1) aus dem Eikonalbegriff die Fehlertheorie dritter Ordnung abgeleitet und Formeln (2) zur Vorrechnung von astrophotographischen Objektiven angegeben, die sich überhaupt zur Berechnung von Objektiven eignen, bei denen nur ein mäßiges Bildfeld bei höchster Schärfe verlangt wird. So benutzte der Verfasser das Eikonal, dessen Identität mit der Hamiltonschen Funktion F. Klein bekanntlich bewiesen hat, zur Berechnung eines mikrophotographischen Objektivs. „So dient im vorliegenden Falle das Prinzip der variierenden Wirkung nicht dazu, die Frage nach einem der Natur innewohnenden Zweck zu beantworten, den sie beim Ablauf optischer Vorgänge verfolge, sondern die durchaus berechtigte Frage des Instrumentenbauers, wie diese Vorgänge künstlich anzuordnen seien, damit der Zweck eines möglichst brauchbaren Instruments erreicht werde“ (3). Für die Auffindung einer leistungsfähigen Objektivkonstruktion ist der umständliche Weg der trigonometrischen Durchrechnung wenig geeignet, dagegen erweist sich die Prüfung des Strahlenganges in einer schon fertigen Konstruktion auf diese Weise als zweckmäßig. Die vorliegende Arbeit will zeigen, daß auch die Leistungsfähigkeit fertiger Konstruktionen mit dem Eikonal beurteilt und gesteigert werden kann. Das wird am Beispiel des Steinheilschen Aplanaten erläutert. Außerdem werden elementare Konstruktionsnotwendigkeiten für das Triplet angegeben.

Im folgenden werden die Schwarzschildschen Bezeichnung ausnahmslos benutzt werden, um einen leichten Vergleich zwischen meinen Werten und den Beziehungen a. a. O. zu ermöglichen. Aus dem gleichen Grunde werden die entsprechenden Formeln in eckige Klammern gesetzt, da der große Umfang der Schwarzschildschen Entwicklungen eine vollständige Wiedergabe nicht erlaubt. In (2) wird der Typus des Aplanaten entwickelt aus dem Eikonal [99] unter der schematischen Benutzung folgender Brechungsexponenten und ν-Werte:

$$n_1 = n_4 = 1{,}6 \qquad n_2 = n_3 = 1{,}5$$
$$\nu_1 = \nu_4 = 36 \qquad \nu_2 = \nu_3 = 60$$

und unter der vereinfachenden Annahme gleicher Verteilung der Leistung auf beide Objektivhälften [Schema *BIb*], wobei freilich bei den resultierenden Radien eine Verkittung der Hälften wie bei der klassischen Aplanatkonstruktion nicht möglich war. Schwarzschild bemerkt dazu. „Es entspricht diese Form dem von A. Steinheil im Jahre 1875 angegebenen Porträtaplanaten. Auch bei diesem ist das erste Teilsystem für sich von sphärischer Aberration befreit, wie man aus seinen Abmessungen entnehmen kann. Es sind dort indessen die Glassorten und der Abstand der Teilsysteme so gewählt, daß die Innenradien gleich wurden und die Linsen beider Teilsysteme verkittet werden konnten.“ Wählt man also dementsprechend als Brechungsexponenten wie Steinheil (4,302):

$$n_1 = n_4 = 1{,}575 \qquad n_2 = n_3 = 1{,}515$$
$$\nu = 42{,}7\,[1] \qquad \nu = 60{,}6$$

[1]) Für die ν-Werte wurde in der Literatur keine Angabe gefunden. Doch dürften die hier angegebenen ν-Werte der Jenaer Gläser $K\,9$ und LF 1 den von Steinheil benutzten sehr nahe kommen.

und als Abstand der beiden Hälften $d = 0{,}64$, wo $f = 1$ immer die Gesamtbrennweite sein soll, so ergeben sich unter Beibehaltung der von Schwarzschild geforderten gleichen Verteilung der Leistung ($\psi = \frac{1}{2}$) keineswegs gleiche Innenradien. Vielmehr folgt aus dem Eikonal selbst, daß sich bei Benutzung obiger Glaskonstanten eine Verkittung der Innenflächen dann und nur dann ermöglichen läßt, wenn [in Schema B]

$$\psi = 0{,}57 \qquad \overline{\psi} = 0{,}74$$

ist. Ich lasse die Zahlenwerte der Schwarzschildschen Koeffizienten für diesen Fall folgen:

$\varphi_1 = -1{,}36$	$R_1 = +0{,}68$	$\lambda_1 = -0{,}626$	$\chi_1 = +0{,}1615$
$\varphi_2 = +1{,}93$	$R_2 = +0{,}395$	$\lambda_2 = +0{,}437$	$\chi_2 = +0{,}0946$
$\varphi_3 = +2{,}50$	$R_3 = -2{,}15$	$\lambda_3 = +0{,}338$	$\chi_3 = -0{,}515$
$\varphi_4 = -1{,}76$	$R_4 = -2{,}52$	$\lambda_4 = -0{,}482$	$\chi_4 = -0{,}597$
$\tau_1 = -2{,}243$	$Q = 0{,}434$	$A = +0{,}528$	$y = -10{,}84$
$\tau_2 = +7{,}695$	$\overline{Q} = -1{,}09$	$\overline{A} = +0{,}975$	$\overline{y} = -21{,}2$
$\tau_3 = +14{,}92$	$x = \overline{x} = 0{,}722$	$B = 2{,}013$	
$\tau_4 = -2{,}02$		$\overline{B} = 3{,}350.$	

Aus diesen ergeben sich für die Krümmungen nach [B IV]

$\varrho_{1,2} = 3{,}58 \mp 1{,}185$	$\varrho_1 = 2{,}395$	$r_1 = 0{,}417$	(0,519)
	$\varrho_2 = 4{,}765$	$r_2 = 0{,}210$	(0,251)
$\varrho_{3,4} = 2{,}89 \pm 1{,}875$	$\varrho_3 = 4{,}765$	$r_3 = 0{,}210$	(0,251)
	$\varrho_4 = 1{,}015$	$r_4 = 0{,}985$	(1,50)
$\varrho_{5,6} = -1{,}94 \pm 2{,}43$	$\varrho_5 = 0{,}49$	$r_5 = 2{,}05$	(2,75)
	$\varrho_6 = -4{,}37$	$r_6 = -0{,}228$	(—0,251)
$\varrho_{7,8} = -2{,}93 \mp 1{,}53$	$\varrho_7 = -4{,}45$	$r_7 = -0{,}225$	(—0,251)
	$\varrho_8 = -1{,}40$	$r_8 = -0{,}715$	(—0,729)

r_2 ist gleich r_3, r_6 nahezu gleich r_7.

Die Radien des Steinheilschen Aplanaten von 1875 sind in Klammern hintergesetzt, wobei aber zu bemerken ist, daß hier die Dicken Berücksichtigung fanden, während die aus dem Eikonal abgeleiteten Radien noch einer geringen Korrektur wegen der Dicken und wegen der Aberrationen höherer als 3. Ordnung bedürfen. Das Verhältnis

$$\frac{\overline{\psi}}{\psi} = \frac{0{,}74}{0{,}54} = 1{,}30$$

entspricht dem Verhältnis der Schnittweiten der Einzelbestandteile der Steinheilschen Konstruktion, die nach den Daten (4,302) trigonometrisch mit 1,758 und 1,356 bestimmt wurden; also

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{1{,}758}{1{,}356} = 1{,}297,$$

eine Übereinstimmung zwischen dem aus dem Eikonal und dem aus der Triangulation erhaltenen Wert, wie sie günstiger gar nicht erwartet werden kann, da alle hier angegebenen Werte mit dem Rechenschieber ($l = 25$ cm) gerechnet wurden, an die Genauigkeit mithin keine allzu hohen Anforderungen gestellt werden können.

Es ist also das Prinzip der ungleichen Verteilung der Leistung, das die besonders große Leistungsfähigkeit des Porträtaplanaten bewirkt und das die gegen die Blende erhabene Fläche im Hintergliede notwendig macht. Diese Tatsache wird man gewiß nicht mit Unrecht als den ersten Schritt Steinheils in der Richtung zum Antiplanat-

prinzip deuten dürfen, zumal Steinheil vorher niemals von der symmetrischen Form (gleiche Verteilung der Leistung) abwich, die auch Schwarzschild für die Erzielung besonders großen Öffnungsverhältnisses als besonders vorteilhaft ansah, da sich so besonders flache Radien ergeben sollten. — Stellt nun der Porträtaplanat die günstigste Form dar, oder läßt er sich auf Grund der aus dem Eikonal gewonnenen Erkenntnisse verbessern? Die aus dem Eikonal gewonnenen Daten der Hinterlinse zeigen nahe Übereinstimmung mit den von A. Steinheil angegebenen, dagegen erweist sich eine stärkere Durchbiegung der Vorderlinse als günstig, denn je hohler die einzige zur Überkorrektion des Astigmatismus benutzbare äußere Konkavfläche ist, um so leichter kann die aus der Petzval-Formel resultierende Wölbung kompensiert werden, die Baulänge des Objektivs (der Abstand der Hälften) kann also beträchtlich vermindert werden. Freilich kann dann die Gleichheit des Kittradius in beiden Hälften, die eine Verbilligung bei der Herstellung bedeutet, nicht beibehalten werden, da dann der Kittradius der Frontkombination kleiner wird als der der Hinterlinse. Verwendet man im Hintergliede Kron von etwas höherer Dispersion als das zugrunde gelegte $K\,9$, so wird r_5 etwas flacher und erhält den Steinheilschen Wert, und es läßt sich Verkittung ermöglichen bei einem Kittıadius, der nahezu gleich dem im Vordergliede ist. Bei Einführung der Dicken und Beibehaltung der ursprünglichen Gläser kommt man ganz von selbst zu gleichen Innenradien im Hinterglied.

Schwarzschild hat auch seine Theorie der Fehler dritter Ordnung auf das Triplet ausgedehnt. Auch hier wird man unter mehreren aus dem Eikonal gewonnenen Konstruktionen zwecks Erzielung einer großen relativen Öffnung die mit besonders flachen Radien zu bevorzugen haben, zumal dann auch die Fehler höherer Ordnung von selbst klein werden. Freilich habe ich nach Entwicklung der Fehlerausdrücke fünfter Ordnung feststellen müssen, daß auch bei möglichst flachen Radien diese Fehler bei diesem Objektiv keineswegs zum Verschwinden gebracht werden können. Das Prinzip der gleichen Verteilung der Leistung hat Schwarzschild nicht auf das Triplet angewandt; das ist hier aber doch besonders zweckmäßig, weil sich durch diese Annahme die Berechnung sehr vereinfacht. Also

$$\varphi_1 = \varphi_3.$$

Ferner werden die erste und die dritte Linse aus demselben Glase bestehend angenommen $n_1 = n_3; \quad \nu_1 = \nu_3.$

Nach [109] ist

$$\varphi_2 = -m(1 + yz)\,\varphi_1$$
$$\varphi_3 = yz \cdot \varphi_1.$$

Unsere Annahme $\varphi_3 = \varphi_1$ bedeutet also

$$yz = 1,$$

wo

$$y = \frac{1}{1 - d_2}$$

(d_1 und d_2 sind die Abstände der Linsen)

und

$$z = \frac{d_1}{d_2} \quad \text{ist.}$$

Da nun $d_2 > 0$ sein muß, ist offenbar $y > 1$, also $z < 1$. Folglich $d_2 > d_1$. Bei einem Triplet, dessen Sammellinsen den gleichen Brechwert besitzen, muß also der Abstand zwischen der ersten und zweiten Linse (d_1) kleiner sein als zwischen der zweiten und dritten Linse (d_2). Aus [108] bestimmt man für

$$n_{1,3} = 1{,}623 \qquad \nu_{1,3} = 56{,}9$$
$$n_2 = 1{,}665 \qquad \nu_2 = 35{,}7$$
$$y = 1{,}08 \qquad z = 0{,}927$$

und aus [109]

$$\varphi_1 = \varphi_3 = 3{,}63$$
$$\varphi_2 = -7{,}43.$$

Aus $z + d_2 = 1$ folgt $d_2 = 0{,}073.$

Ferner ist $d_1 = 0{,}068.$

Die Gesamtdicke des Objektivs ist also bemerkenswert gering; bei ungleicher Verteilung der Leistung ist sie jedenfalls größer. Dieses Triplet erfüllt aber auch die Petzvalbedingung

$$\varrho = 0 = \frac{\varphi_1}{n_1} + \frac{\varphi_2}{n_2} + \frac{\varphi_3}{n_3},$$

$$\varrho = \frac{3{,}63}{1{,}623} - \frac{7{,}43}{1{,}665} + \frac{3{,}63}{1{,}623} = 0,$$

wo ϱ die Bildkrümmung in der Achse ist. Bei den trigonometrisch errechneten Triplets begnügt man sich in praxi damit, daß man ϱ auf einen kleinen endlichen Betrag reduziert, z. B. 0,25.

Das Taylorsche ursprüngliche Porträtobjektiv mit der relativen Öffnung 1:4 besitzt einen ähnlichen Aufbau wie das oben besprochene Triplet, nur die Auswahl der Gläser war eine andere

$$n_1 = n_3 = 1{,}511 \qquad n_2 = 1{,}604,$$

weshalb hier von einem Vergleich der entsprechenden Radien abgesehen wird. Immerhin ist auch hier genau

$$\varphi_1 = \varphi_3,$$

ja die Radien und Dicken der beiden Sammellinsen sind identisch (4. S. 238), was eine Erleichterung in der Fabrikation bedeutet. In der Tat ist auch hier d_1 etwas kleiner als d_2, eine notwendige Bedingung für die Leistungsfähigkeit dieses Objektivs, wie uns oben das Eikonal zeigte! Es lehrt uns ferner, daß es eine Unmöglichkeit ist, ein vollkommen in sich symmetrisches leistungsfähiges Triplet zu konstruieren, da $\varphi_1 = \varphi_3$ nicht zugleich mit $d_1 = d_2$ erfüllt sein kann. Für mikrophotographische Zwecke eignet sich das Triplet nicht, besonders da das sekundäre Spektrum zu groß ist. Geht man von der strengen Erfüllung der Petzvalbedingung ab, so kommt man zu Objektiven mit flacheren Radien, die eine Steigerung der Öffnung gestatten und für die ϱ auch klein bleibt, im allgemeinen nicht $> 0{,}25$ wird. Macht man $\varphi_1 > \varphi_3$ [cf. 119], so rückt die Zerstreuungslinse immer mehr an die Frontlinse heran. Es ergibt sich der Typus der lichtschwächeren Serie der *Cooke lens,* bei der der Korrektionszustand der schiefen Büschel auch für größere Hauptstrahlenneigungen recht befriedigend gestaltet werden kann.

Literatur:

1. K. Schwarzschild, Untersuchungen zur geometrischen Optik. I.
2. K. Schwarzschild, Untersuchungen zur geometrischen Optik. III. Gött. Abh. 1905.
3. Felix Klein, Die Entwicklung der Mathematik im 19. Jahrhundert. Berlin 1926.
4. M. v. Rohr, Theorie und Geschichte des photographischen Objektivs. Berlin 1899.

Beseitigung der Unstetigkeiten im Auflösungsvermögen der Dunkelfeldmikroskope.

Von
Dr. **Jan Groeneveld** in Clausthal.

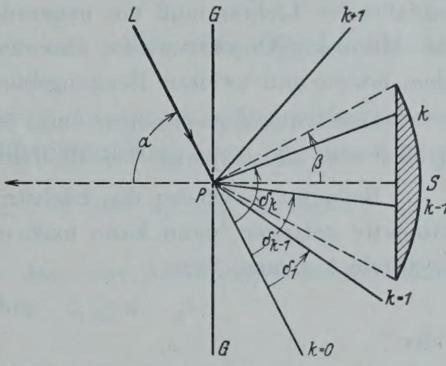
Nachfolgende Zeilen stellen die hübschen Untersuchungen von Siedentopf: „Über das Auflösungsvermögen der Mikroskope bei Hellfeld- und Dunkelfeldbeleuchtung" in der *Zeitschr. f. wiss. Mikroskopie* **32**. *S. 1—42. 1915* in neuem Gewande dar, und geben eine Lösung für die Beseitigung der dort aufgedeckten Unstetigkeiten beim Dunkelfeldmikroskop.

Wir gehen von zwei Voraussetzungen aus:

a) Wird ein Lichtstrahl LP (s. Abb.) an einem Gitter GG gebeugt, dann gilt für die Beugungswinkel δ_k die Frauenhofersche Beugungsgleichung

$$k \cdot \lambda = d \cdot n \cdot [\sin \alpha + \sin (\delta_k - \alpha)].$$

Hier bedeutet λ die Wellenlänge des Lichtes, d die Gitterkonstante, k die Ordnungszahl des betrachteten Beugungsbüschels und n den Brechungsindex des Gittermediums.



b) Es ist eine Erfahrungstatsache, daß die mikroskopische Abbildung eines Gitters nur dann zustande kommt, wenn mindestens zwei aufeinanderfolgende Beugungsbüschel $k-1$ und k in das Mikroskop-Objektiv S gelangen.

Unsere Voraussetzung b) folgt aus der Abbeschen Theorie der mikroskopischen Bilderzeugung, die aber umgekehrt nicht notwendig aus unserer Voraussetzung folgt. Unsere Voraussetzung ist also weniger weitgehend. Wie die mikroskopische Abbildung im Einzelnen zustande kommt, und was insbesondere in der Brennebene des Mikroskopobjektivs vor sich geht, ist für die folgenden Betrachtungen gleichgültig.

In der Figur bedeutet $A_e = n \sin \alpha$ die numerische Apertur des einfallenden Lichtbündels, $A = n \sin \beta$ diejenige des Mikroskop-Objektivs.

Aus unseren Voraussetzungen a) und b) folgt nun sofort:

1. $\alpha = 0$; Hellfeldbeleuchtung mit senkrechtem Lichteinfall. $d = \frac{k \cdot \lambda}{n \cdot \sin \delta_k}$, wo k die höchste Ordnungszahl der Beugungsbüschel bedeutet, die in das Objektiv gelangen. Bei konstanter Wellenlänge ist d um so kleiner, je kleiner k und je größer $\sin \delta_k$ ist. Die Extremwerte sind $k = 1$ und $\delta_k = \delta_1 = \beta$. Mit $A = n \cdot \sin \beta$ folgt als maximales Auflösungsvermögen:

$$d = \frac{\lambda}{A} \qquad 1)$$

2. $\alpha = \beta$; Hellfeldbeleuchtung mit äußerst schiefem Lichteinfall.

$$d = \frac{k \cdot \lambda}{n \cdot [\sin \alpha + \sin (\delta_k - \alpha)]}.$$

Bei konstantem λ und α wird d um so kleiner, je kleiner k und je größer $\sin (\delta_k - \alpha)$ wird. Die Extremwerte sind $k = 1$ und $\delta_k - \alpha = \beta = \alpha$; $\delta_k = 2 \cdot \alpha$.

Als maximales Auflösungsvermögen ergibt sich somit:

$$d = \frac{\lambda}{2 \cdot A}. \qquad 2)$$

3. $\alpha > \beta$; Dunkelfeldbeleuchtung.

$$d = \frac{k \cdot \lambda}{n \cdot [\sin \alpha + \sin (\delta_k - \alpha)]} \geq \frac{k \cdot \lambda}{A_e + A},$$

wo

$$A = n \cdot \sin (\delta_k - \alpha)_{\max} = n \cdot \sin \beta \quad \text{und} \quad k \geq 2.$$

Als maximales Auflösungsvermögen folgt also:

$$d = \frac{k \cdot \lambda}{A_e + A}. \qquad 3)$$

Setzen wir 3) gleich 2), dann folgt $2\,A = \frac{A_e + A}{k}$ oder

$$A_e = (2\,k - 1) \cdot A \qquad 4)$$

als Bedingung dafür, daß das Dunkelfeldmikroskop das gleiche maximale Auflösungsvermögen wie das zugehörige Hellfeldmikroskop besitzt. Die numerische Apertur des einfallenden Lichtes muß ein ungerades ganzzahliges Vielfache der numerischen Apertur des Mikroskop-Objektivs sein, also ein dreifaches, wenn $k = 2$, d. h. die Abbildung mit dem ersten und zweiten Beugungsbüschel zustande kommt.

Das Auflösungsvermögen eines Mikroskopes bei Dunkelfeldbeleuchtung kann nicht größer sein als dasjenige bei Hellfeldbeleuchtung. Das folgt so:

Bedeutet k wieder die höchste Ordnungszahl der Beugungsbüschel, die in das Objektiv gelangen, dann kann nach unserer Voraussetzung b) eine Abbildung nur dann zustande kommen, wenn

$$\delta_k - \alpha \leqq \beta \quad \text{und gleichzeitig} \quad \alpha - \delta_{k-1} \leqq \beta$$

oder

$$n \cdot \sin (\delta_k - \alpha) \leqq n \cdot \sin \beta = A$$

und

$$n \cdot \sin (\alpha - \delta_{k-1}) \leqq n \cdot \sin \beta = A.$$

Nun ist nach unserer Voraussetzung a)

$$n \cdot \sin (\delta_k - \alpha) = k \cdot \frac{\lambda}{d} - n \cdot \sin \alpha = k \frac{\lambda}{d} - A_e$$

und

$$n \cdot \sin (\delta_{k-1} - \alpha) = (k-1) \frac{\lambda}{d} - A_e.$$

Also:

$$k \frac{\lambda}{d} - A_e \leqq A \quad \text{und} \quad -(k-1) \frac{\lambda}{d} + A_e \leqq A$$

oder

$$\frac{\lambda}{d} \leqq \frac{A_e + A}{k} \quad \text{und} \quad \frac{\lambda}{d} \geqq \frac{A_e - A}{k-1}$$

$$\frac{A_e - A}{k-1} \leqq \frac{\lambda}{d} \leqq \frac{A_e + A}{k}. \qquad 5)$$

Hieraus folgt weiter

$$A_e \leqq (2\,k - 1) \cdot A. \qquad 6)$$

Setzen wir 6) in 3) ein, dann erkennen wir, daß $d_{3)} \geqq d_{2)}$ sein muß.

Lücken im vollen Auflösungsvermögen.

Das volle Auflösungsvermögen wird mit einem Dunkelfeldmikroskop bei gegebener Apertur A_e der Beleuchtung nach 4) nur für einzelne Werte A erzielt, wenn aber die Apertur A_e alle zwischen zwei Grenzen A_e' und A_e'' ($A_e'' > A_e'$) liegenden Werte annimmt, wie es praktisch immer der Fall ist, dann ergeben sich auch für A Intervalle, in denen das volle Auflösungsvermögen erzielt werden kann. Aus 4) folgt in leicht verständlicher Bezeichnung

$$A'' - A' = \frac{A_e'' - A_e'}{2k - 1}.$$

Indem man für k nacheinander die Werte 2; 3; 4 . . . einsetzt, erhält man die Intervalle

$$A_2'' - A_2' = \frac{A_e'' - A_e'}{3}; \quad A_3'' - A_3' = \frac{A_e'' - A_e'}{5}; \quad A_4'' - A_4' = \frac{A_e'' - A_e'}{7} \text{ usw.}$$

Sollen die beiden ersten Intervalle lückenlos aufeinander folgen, dann muß $A_2' \leqq A_3''$ sein oder

$$\frac{A_e'}{3} \leqq \frac{A_e''}{5}. \tag{7}$$

Die anderen Intervalle folgen dann von selbst lückenlos aufeinander. Wir kommen zu dem Ergebnis:

Ein Dunkelfeldmikroskop mit der numerischen Apertur A besitzt lückenlos das volle Auflösungsvermögen wie das zugehörige Hellfeldmikroskop, wenn die numerischen Aperturen des Kondensors in den Grenzen $A_e'' \geqq 3 \cdot A$ und $A_e' \leqq \frac{9}{5} \cdot A$ liegen.

Für Aperturwerte $A > \frac{A_e''}{3}$ kann allerdings das volle Auflösungsvermögen nicht erreicht werden.

Lücken im Auflösungsvermögen überhaupt.

Die Ungleichung 5) ist die notwendige und hinreichende Bedingung für die Auflösung eines Gitters. Liegt nun aber die numerische Apertur des einfallenden Lichtes in den Grenzen $A_e' \leqq A_e \leqq A_e''$, dann lautet die notwenige und hinreichende Bedingung für die Auflösung eines Gitters:

$$\frac{A_e' - A}{k - 1} \leqq \frac{\lambda}{d} \leqq \frac{A_e'' + A}{k}. \tag{8}$$

Sei $A = 0{,}49$; $A_e' = 1{,}15$; $A_e'' = 1{,}20$; $d = 1{,}02\ \mu$ (Beispiel nach Siedentopf) dann folgen für λ die Intervalle:

k	$\lambda = d\frac{A_e' - A}{k - 1}$	bis	$d\frac{A_e'' + A}{k}$
2	0,673 μ	bis	0,862 μ
3	0,337	bis	0,575
4	0,224	bis	0,431

Wird das mikroskopische Objekt mit Licht der Wellenlänge $\lambda = 0{,}673\ \mu$ bis $0{,}862\ \mu$ oder $\lambda = 0{,}224\ \mu$ bis $0{,}575\ \mu$ beleuchtet, dann erfolgt die Auflösung des Gitters mit der Gitterkonstanten $d = 1{,}02\ \mu$. Die Auflösung erfolgt aber nicht, wenn Licht der Wellenlänge $\lambda = 0{,}575\ \mu$ bis $0{,}673\ \mu$ benutzt wird. Wir haben hier eine totale Farbenlücke.

Wie man aus obiger Tabelle sieht, sind solche Farbenlücken ausgeschlossen, wenn $\frac{A_e' - A}{k-1} \leqq \frac{A_e'' + A}{k+1}$ ist.

Diese Ungleichung ist für $k > 2$ von selbst erfüllt, wenn sie für $k = 2$ erfüllt ist. Es genügt also, die Ungleichung

$$3 \cdot A_e' - A_e'' \leqq 4 \cdot A \qquad 9)$$

zu betrachten.

Wir haben also das Ergebnis:

Farbenlücken können nicht vorhanden sein, wenn die Ungleichung 9) erfüllt ist. Die Bedingung $A_e' \leqq \frac{9}{5} \cdot A$ und $A_e'' \geqq 3 \cdot A$ für das volle Auflösungsvermögen ist zugleich hinreichend, Farbenlücken auszuschließen.

Aus der Ungleichung 8) folgt weiter

$$\frac{(k-1) \cdot \lambda}{A_e' - A} \geqq d \geqq \frac{k \cdot \lambda}{A_e'' + A}. \qquad 10)$$

Wenn das einfallende Licht zwei verschiedene Grenzaperturen A_e' und A_e'' hat, dann ist die Gleichung 3) für das Auflösungsvermögen eines Dunkelfeldmikroskopes durch die Ungleichung 10) zu ersetzen.

In unserem obigen Beispiel mit $A = 0{,}49$; $A_e' = 1{,}15$; $A_e'' = 1{,}20$; $\lambda = 0{,}55\ \mu$ und variablem d folgt:

k	$d = \frac{k \cdot \lambda}{A_e'' + A}$	bis $\frac{(k-1) \cdot \lambda}{A_e' - A}$
2	0,651	0,833
3	0,976	1,667
4	1,302	2,500

In unserem Beispiel sind Gitter mit $d = 0{,}833\ \mu$ bis $0{,}976\ \mu$ nicht auflösbar, wohl aber feinere Gitter mit $d = 0{,}651\ \mu$ bis $0{,}833\ \mu$.

Solche Lücken sind ausgeschlossen, wenn $\frac{(k-1) \cdot \lambda}{A_e' - A} \geqq \frac{(k+1) \cdot \lambda}{A_e'' + A}$. Diese Ungleichung ist identisch mit 9). Für die hier behandelte Unstetigkeit gilt daher auch das oben Gesagte.

Das Ergebnis unserer Untersuchung ist:

Beim Dunkelfeldmikroskop sind alle Unstetigkeiten vermieden, wenn $A_e' \leqq \frac{9}{5} \cdot A$ und $A_e'' \geqq 3 \cdot A$ ist.

Referate.

Erfahrungen beim Heliotropieren.

Von W. Lang. *Schweiz. Zeitschr. für Vermessungsw. u. Kulturtechnik 1927. S. 46.*

Die Eidg. Landestopographie hat in den Jahren 1910—1913 eine große Zahl Winkel des 1864—1879 gemessenen Dreiecksnetzes I. Ordnung neu beobachtet; dabei machten sich in den ersten Jahren beim Heliotropieren häufig Störungen bemerkbar, die nicht durch äußere Ursachen zu erklären waren, sondern auf Unvollkommenheiten der benutzten Heliotrope zurückzuführen waren. Die zur Verfügung stehenden Heliotrope hatten die bekannte Bertramsche Bauart; ihre Untersuchung zeigte, daß die an das Heliotrop zu stellende Anforderung, nach der die horizontale und die vertikale Drehachse des Spiegels sich in einem in der Mitte des Glases im schattenwerfenden

Kreis des Spiegels liegenden Punkt treffen müssen, ungenügend erfüllt war. Nachdem die Heliotrope vom Mechaniker berichtigt worden waren, zeigten sich bei ihrer Wiederbenutzung die früher beobachteten Störungen nicht mehr.

Auf Grund seiner Erfahrungen machte der Verfasser im Jahre 1913 Angaben zum Bau eines neuen Heliotrops, das dann von der feinmechanischen Werkstätte Haag-Streit in Bern für die Messung des neuen Alpenhauptnetzes hergestellt wurde. Das Instrument zeigt im Grundgedanken die Bertramsche Bauart; es unterscheidet sich von dieser durch seine — besonders in verpacktem Zustand — geringen Abmessungen, sein geringes Gewicht und seinen stabilen, die Unveränderlichkeit des berichtigten Instruments gewährleistenden Bau.

Der Unterteil des Heliotrops ist zusammenklappbar — der Verfasser hat deshalb die Bezeichnung „Klappheliotrop" gewählt — und dient in zusammengeklapptem Zustand bei der Beförderung zur Aufnahme der einzelnen Instrumententeile. Das zusammengeklappte Gehäuse mißt $18 \times 11 \times 3$ cm und ist nur 1,7 kg schwer, im Gegensatz zu dem $56 \times 20 \times 20$ cm großen und 7,8 kg schweren Heliotrop älterer Bauart. Das Instrument hat sich bei der Messung des neuen Alpenhauptnetzes „unter zum Teil strapaziösen Umständen ausnahmslos bewährt".

Im Zusammenhange teilt der Verfasser noch Erscheinungen mit über das Abblenden von zu starkem Heliotroplicht bei kürzeren Zielungen. An Stelle der sonst üblichen, schon mit Rücksicht auf die Verständigung nicht ganz bequemen Abblendung des Leuchtspiegels empfiehlt er eine Blendvorrichtung in Gestalt einer vor das Objektiv des Theodolitfernrohres gesteckten Blende mit 2—6 mm großer Öffnung in Kreisform oder besser einer 4 mm breiten horizontalen Schlitzblende; die mit der letzteren gemachten Erfahrungen sind offenbar recht gute. *P. Werkmeister.*

Über den Einfluß des Grenzkontrastes auf Präzisionsmessungen.

Von A. Kühl, *Physikal. Zeitschr.* **29.** *S. 1—34. 1928.*

Ein Fachmann, der wie kein anderer dazu berufen ist, nimmt hier das Wort zu einer Frage, deren Bedeutung bisher nur ungenügend gewürdigt worden ist. Bei Messungen mit Fernrohren und ähnlichen optischen Instrumenten, die an kontrastbehafteten Bildern und Lichtverteilungen vorgenommen werden, wird die nach den Gesetzen der geometrischen Optik zu erwartende Lichtverteilung durch Kontrasteffekte verfälscht. Der Verfasser, der an dem Studium dieser Erscheinungen hervorragenden Anteil hat, gibt in seiner zusammenfassenden Bearbeitung einen Überblick über den heutigen Stand des Problems und die praktischen Folgerungen, zu denen der Stand der Erkenntnis zwingt. Den Fachkreisen, die es angeht, wird das Gebiet durch die Kühlsche Arbeit in gewissem Sinne erst erschlossen, denn wie das ausführliche Literaturverzeichnis am Schluß zeigt, sind die Originalarbeiten sehr verstreut.

Der Verfasser leitet zunächst das Machsche Kontrastgesetz ab, um danach in theoretischen Betrachtungen die Kontrastfunktion bei Beugungsbildern zu diskutieren. An einigen Beispielen wird der numerische Verlauf der Funktion gezeigt. Durch zahlreiche tabellarische Zusammenstellungen der Funktionswerte, noch wirksamer durch einige die Tabellenwerte darstellenden Kurven, wird das Wesen der Erscheinung erläutert. In dem die Bildgrenze überschriebenen Schlußabschnitt, wird dann der Einfluß des Kontrasteffekts auf Messungen behandelt und an verschiedenen der astronomischen Praxis entnommenen Beispielen der Einfluß der Kontrastfehler gezeigt.

Man kann dem Verfasser nur beipflichten, wenn er es als erstaunlich hinstellt, daß das Kontrastproblem bisher nur wenig Beachtung findet, obwohl die Forschung sich bemüht, Erscheinungen nachzuweisen, die durch den Kontrasteffekt angebbar verfälscht, wenn nicht ganz verschleiert werden können. *W. Keil.*

Eine photographische Methode der Spektralphotometrie im Rot und Ultrarot.

(*A photographic method of spectrophotometry in the red and infrared.*)

Von A. L. Schoen. *Journ. Opt. Soc. of America* **14.** *S. 179—186. 1927.*

Seit der Erfindung des weit ins Rot hinein die photographische Emulsion sensibilisierenden Neocyanin ist die photographische Spektralphotometrie auch bis zu den ganz langen Lichtwellen anwendbar. Mit Neocyaninplatten, die wegen ihrer Haltbarkeit im Handel käuflich sind, kann man noch die Wellenlänge 900 $\mu\mu$ ohne Schwierigkeiten photographieren, und bei Übersensibilisierung

sogar noch bis 1000 $\mu\mu$. Verf. beschreibt eine Anordnung, die eine photographische Spektralphotometrie bis 1000 $\mu\mu$ gestattet. Die Apparatur besteht aus einem Drei-Prismen-Spektrographen von Heele, an dessen Eintrittsspalt ein Polarisationsphotometer von Bellingham and Stanley montiert ist. In letzterem findet die für die Photometrie notwendige Zerlegung des Lichts in zwei Teilbündel statt, in deren eines das zu photometrierende Objekt gebracht wird. Die beiden Teilbündel treffen je eine Spalthälfte des Spektrographen. Wegen der hohen Dispersion des Apparates muß die Lichtquelle sehr intensiv sein, und zwar benutzt Verf. einen Unterwasserlichtbogen für 110 Volt und 35 Amp. mit einer Lichtstärke von 920 Candlepower pro mm². Die Kraterhelligkeit schwankt um etwa $\pm 5\,^0/_0$. Das zu photometrierende Objekt wird nun in den Gang des einen Teilbündels gestellt. Es wird eine Serie von Spektralaufnahmen gemacht. Neben jedes derartige Spektrum wird durch die andere Spalthälfte eine weitere Reihe von Spektren der Lichtquelle aufgenommen, die durch Einstellung der Polarisatoreinrichtung nach bekannten Schwärzungsgraden fortschreitet. In jedem Spektrenpaar werden die Wellenlängen gleicher Schwärzung aufgesucht und gegen die entsprechenden Schwärzungen aufgetragen. Diese Methode ist frei von Fehlern des Reziprozitätsgesetzes und von Intermittenzeffekten, außerdem von Fehlern infolge lokal veränderlicher Plattenempfindlichkeit und von Belichtungsfehlern.

Die Kalkspatprismen sind ohne Einfluß auf die Gestaltung der Intensitätsverteilung, da sie bis 2000 $\mu\mu$ vollkommen unselektiv sind.

Nach der beschriebenen Methode untersucht Verf. die spektrale Durchlässigkeit von Lösungen verschiedener Rotsensibilisatoren, sowie einiger Blau- und Grünsensibilisatoren. Es läßt sich eine Beziehung zwischen deren Absorptionsbanden und Gebieten maximaler Semibilisierungs-Empfindlichkeit feststellen. Außerdem nimmt Verf. noch die spektıale Energieverteilung einiger Rotfilter von Wratten auf. *Flügge.*

Die Aufhebung der Verzeichnung an Objektiven für Luftbildphotographie.

(The compensation of distortion in objectives for airplane photography.)

Von I. C. Gardner und A. H. Bennett. *Journ. Opt. Soc. of America* ***14.*** *S. 245—250. 1927.*

Linsen für die Luftbildphotographie zu topographischen Zwecken müssen streng verzeichnungsfrei sein. Dieser Bedingung genügen die Objektive aber nur unvollkommen. Verf. weisen darauf hin, daß die Verzeichnung in vielen Fällen bis zu einem gewissen Grade durch eine Planparallelplatte kompensiert werden kann, wenn man sie zwischen Objektiv und photographischer Platte anbringt. Allerdings hilft dieses Verfahren nur, wenn kissenförmige Verzeichnung behoben werden soll.

Flügge.

Die Verzeichnung einiger typischer photographischer Objektive.

(The distortion of some typical photographic objectives.)

Von A. H. Bennett. *Journ. Opt. Soc. of America* ***14.*** *S. 235—244. 1927.*

In Verbindung mit einer Prüfung von Linsen für die Luftbildtopographie wurde eine sorgfältige Untersuchung über die Verzeichnung einer großen Zahl von hochwertigen handelsüblichen photographischen Objektiven vorgenommen. Es wird der für die Verzeichnungsmessung benutzte Apparat beschrieben, der für unendlichen und endlichen Objektabstand verwendet werden kann. Das Prinzip der Methode ist folgendes: Man betrachte eine Linse, die Verzeichnung aufweist, und welche um eine senkrecht zur optischen Achse durch den hinteren Knotenpunkt gelegte Achse drehbar ist; war der Objektpunkt vor der Rotation achsial gelegen, dann wird bei der Rotation um einen Winkel β das Bild dieses Punktes in einer zur Verbindungsgeraden zwischen Objekt und Knotenpunkt senkrechten Richtung um die Strecke $D \cos \beta$ verlagert, wo D die Verzeichnung mißt. Die Methode läuft somit auf die Messung der seitlichen Verschiebung des Bildpunktes hinaus. Die Hauptteile des hierfür eigens konstruierten Apparates sind ein Kollimator, welcher ein parallelstrahliges Bündel liefert, der Knotenpunktschlitten und ein Meßmikroskop; alle Teile sind auf einer gemeinsamen optischen Bank montiert. Es werden Untersuchungsergebnisse über die Verzeichnung eines symmetrischen Anastigmaten mitgeteilt, wenn das Objekt im Unendlichen und wenn es im negativen Hauptpunkt gelegen ist. In letzterem Falle, wo die Vergrößerung 1 : 1 beträgt, sollte bei einer symmetrischen Linse keine Verzeichnung bestehen, aber tatsächlich läßt sich an verschiedenen

derartigen Objektiven Verzeichnung nachweisen, was durch unvollkommene Symmetrie begründet wird. Ferner werden Ergebnisse über die Verzeichnungsmessung eines unsymmetrischen Anastigmaten (Tessar-Typus) mitgeteilt. Es zeigen sich bedeutende Unterschiede zwischen Einzelexemplaren desselben Konstruktionstypus. Zum Schluß wird die Aufmerksamkeit auf die Tatsache gelenkt, daß nicht selten infolge leichter prismatischer Wirkung des Systems die optische Achse der Linse geknickt wird. Auch dieser Knick kann an der Bank gemessen werden. *Flügge.*

Achromatische Linsen für das Ultraviolett.

(Lentilles achromatiques pour l'ultraviolet.)

Von Leon und Eugène Bloch. *Revue d'Opt.* **6.** *S. 31—33. 1927.*

Die Verfasser schlagen vor, bei gewissen Arbeiten im ultravioletten Spektralgebiet die teuren und schwer erhältlichen Quarz-Fluorit-Achromaten durch Quarz-Wasser-Achromaten zu ersetzen. Rechnung und Praxis zeigen, daß die Quarz-Wasser-Dublets zwar längst nicht so vorzüglich achromatisch sind wie die Quarz-Fluorit-Achromaten, daß aber gegenüber den einfachen Quarzlinsen die Achromasie mindestens 10mal besser ist. Die achromatischen Quarz-Wasser-Linsen eignen sich besonders für die Projektion der Lichtquelle auf den Spektrographenspalt. Sie werden von der französischen Firma Jobin et Yvon für physikalische und spektrographische Zwecke in den Handel gebracht. *Flügge.*

Die Messung des Auflösungsvermögens photographischer Schichten.

(On the measurement of resolving power of photographic materials.)

Von Otto Sandvik. *Journ. Opt. Soc. of America* **14.** *S. 169—177. 1927.*

Das Auflösungsvermögen einer photographischen Schicht kann qualitativ definiert werden als die Fähigkeit, im Bilde feine Details zu zeigen. Zur Feststellung des Auflösungsvermögens werden im allgemeinen geeignete Prüfobjekte in bestimmtem Vergrößerungsmaßstab photographiert, und zwar entweder ein System heller und dunkler Sektoren von schmaler, gleicher Winkelöffnung oder ein System paralleler heller und dunkler Linien verschiedenen Abstandes. Das Auflösungsvermögen wird dann definiert als die Anzahl der Striche pro Millimeter, die noch eben aufgelöst werden.

Die vorliegende Abhandlung gibt einige Resultate mit dem Parallelensystem. Dieses Objekbesteht aus sechzehn Gruppen paralleler Linien. Jede Gruppe enthält drei dunkle Zwischenräume und zwei transparente Linien. Die Entfernung zwischen der Mitte einer Linie und der Mitte eines benachbarten Zwischenraumes sei mit d bezeichnet. Dieser Wert d ist für alle Liniengruppen derselbe. Das Verhältnis der Linienbreite zu der Breite des Zwischenraumes ist für jede Gruppe verschieden, es sei mit A bezeichnet. Die Werte für A variieren zwischen 10,7 und 0,13. Dieses Objekt wurde auf der photographischen Schicht mit der Vergrößerung 0,05 (1 : 20) aufgenommen. Wenn d (in Millimetern ausgedrückt) die Abstandskonstante des für eben aufgelöst befundenen Objekts ist, beträgt das Auflösungsvermögen, d. h. die Linienzahl pro Millimeter, $R = \frac{1}{d} \cdot 20$.

Nach Huse hängt das Auflösungsvermögen bekanntlich sehr weitgehend von der Belichtungszeit ab, und zwar erreicht es ein Maximum für mittlere Belichtungszeiten; die Angaben über das Auflösungsvermögen beziehen sich dann auf den Fall der optimalen Belichtung. Bei der praktischen Auflösungsbestimmung muß man deshalb Aufnahmen unter sonst gleichen Bedingungen bei variierten Belichtungszeiten machen; Verf. machte insgesamt neun Expositionen von jedem Objekt und verdoppelte jedesmal die Belichtungszeiten. Ferner hat die Entwicklungsdauer auf das Auflösungsvermögen Einfluß. Das gleiche gilt von der Zusammensetzung der Entwicklerlösung, der Entwicklungstemperatur usw. Verf. legte sich deshalb auf eine bestimmte Entwicklungsart fest und variierte nur die Entwicklungszeiten zwischen 1 über 2, 4 bis 8 Minuten.

Die Untersuchungen erstrecken sich auf verschiedenes photographisches Material, und zwar *Eastman 40 plate, Eastman speedway plate, Eastman superspeed portrait film* und *Eastman process plate.* Jedes in obiger Weise erhaltene Bild wurde unter dem Mikroskop geprüft und so das Auflösungsvermögen als Funktion zweier Größen, nämlich des Verhältnisses A und der Entwicklungszeit, erhalten. Faßt man die gemessenen Punkte gleicher Entwicklungszeit zusammen, so ergibt sich durchweg eine lineare Abhängigkeit des Auflösungsvermögens von dem log A. Die Auflösung nimmt

mit wachsenden Werten des log A linear ab. Um verschiedene Photoschichten vergleichen zu können, bestimmt Verf. das Auflösungsvermögen für den Wert $A = 1$ ($\log A = 0{,}0$) und eine mittlere Entwicklungsdauer. Er gelangt zu folgenden Werten: (T = Entwicklungszeit in Minuten).

Material	Auflösungsvermögen für $A = 1{,}0$				
	$T = 1$	$T = 2$	$T = 4$	$T = 8$	Mittel
Eastman 33	65	54	60	58	59
Eastman Process	58	—	—	—	58
Eastman 40	57	45	46	48	49
Eastman Speedway . . .	—	37	30	28	32
Superspeed Portrait . .	—	47	45	45	46

Flügge.

Eine einfache Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Momentverschlusses photographischer Apparate.

(Un metodo semplice per determinare la velocità dello scatto delle macchine fotografiche.)

Von V. Ronchi. *L'Universo* **6.** *Heft 12. 1925.*

Eine mit Wechselstrom bekannter Periodenzahl gespeiste Halbwattlampe mit geradlinigem Fadenstück wird im Augenblick der Belichtung von Hand am Apparat vorbeibewegt. Auf der photographischen Platte bildet sich ein Streifensystem ab, welches nichts anderes darstellt als das Fadenstück in seiner Querbewegung. Der Wechselstrom bewirkt ein ständiges Aufleuchten und Erlöschen des Glühfadens, und zwar doppelt so oft wie die Zahl der Perioden beträgt. Da man also weiß, wievielmal der Faden bei bekannter Periodenzahl während 1 Sekunde aufleuchtet, genügt ein Abzählen der auf der Platte während der Momentbelichtung aufgenommenen Streifen, um sofort auf die Belichtungszeit umrechnen zu können.

Bei 50-periodigem Wechselstrom leuchtet der Glühfaden 100mal in der Sekunde auf. Markieren sich demnach 5 Streifen auf der photographischen Platte, so betrug die Belichtungszeit $^1/_{20}$ Sekunde. Naturgemäß ist diese Methode bei 50-periodigem Wechselstrom nur zur Feststellung von Belichtungszeiten über $^1/_{100}$ Sekunde brauchbar. *Flügge.*

Ein registrierender Schallmesser und seine Anwendungen.

Von E. Gerlach, *Zeitschr. f. techn. Phys.* **8.** *515—519. 1927.*

Durch die Fortschritte, die die drahtlose Telephonie in den letzten Jahren gemacht hat, sind auch akustische Fragen wieder stark in den Vordergrund der physikalischen Forschung getreten. Vornehmlich war es die Technik, die hier Probleme aufwarf und nach ihrer Bearbeitung verlangte. Es handelt sich dabei in erster Linie um die Kontrolle der Wiedergabe elektrisch erzeugter und übertragener akustischer Frequenzen.

Der Verfasser beschreibt eine im Zentrallaboratorium des Wernerwerkes entwickelte elektroakustische Meßeinrichtung. Die zur Messung benötigten Frequenzen des akustischen Bereiches werden in der üblichen Weise durch Überlagerung in einem Gleichrichterrohr erzeugt. Sie werden dann über einen Verstärker dem Schallstrahler (Lautsprecher) zugeleitet, durch ein frequenzunabhängiges Mikrophon wieder in elektrische Ströme umgewandelt, die über einen weiteren Verstärker einem Spiegelhitzdrahtinstrument zugeführt werden. Das Instrument ist mit Öldämpfung und besonderem Temperaturausgleich versehen und besitzt einen gradlinigen Hitzdraht. Die Spiegelausschläge werden photographisch registriert. Die Bewegung des Registrierpapiers in der Abszissenachse ist mit der Einstellung des die Frequenzen regelnden Drehkondensators gekoppelt. Als ein großer Vorteil erweist es sich, daß bei dem Überlagerungsgenerator, die Spannung praktisch über den ganzen Bereich konstant bleibt, neben anderen Vorzügen, die hier nicht erwähnt werden können. Verbindet man den Generator mit dem Schreiber über die Verstärker unmittelbar und sorgt man dafür, daß die Verstärker nicht verzerren, was sich ohne Schwierigkeiten erreichen läßt, so muß die Registrierkurve eine gerade Linie ergeben. Leitet man die erzeugten Schwingungen dem Lautsprecher zu und fängt sie mit dem Meßmikrophon auf, so liefert der Schreiber eine Kurve, die die Charakteristik des Lautsprechers darstellt.

Zur Vereinfachung der Kurvenauswertung hat der Verfasser ein Umzeichengerät konstruiert, das es gestattet, die der Art des Registriergeräts entsprechende quadratische Kurve in radizierter Form auf doppelt logarithmisches Papier umzuzeichnen.

Als Meßmikrophone wurden Bandmikrophone mit äußerst dünnem Aluminiumband verwendet, die auch sonst konstruktive Besonderheiten aufweisen.

Die beschriebene Anordnung gestattet die verschiedenartigsten Messungen; beispielsweise seien nur angeführt: Messung des Einflusses von Verstärker, Siebketten, Transformatoren und anderen Schaltaggregaten auf elektrisch übertragene akustische Schwingungen, ebenso wie die Ermittlung der Charakteristik von Lautsprechern und Mikrophonen.

Zahlreiche Abbildungen unterstützen die ebenso inhaltreichen wie gedrängten Ausführungen des Verfassers sehr wirksam, so daß ein befriedigender Einblick in den elektro-akustischen Fragenkomplex, der die Technik z. Z. sehr stark beschäftigt, gewonnen wird. *W. Keil.*

Ein neues Torsionsanemometer.

(A torsion Anemometer.)

Von I. P. Rees. *Journ. Scient. Instr.* **4**. *S. 311—313. 1927.*

Die Kontrolle der Wetterführung in heißen und tiefen Bergwerken gestaltete sich bisher deshalb sehr schwierig, weil es an einem geeigneten, vor allem bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten zuverlässig anzeigenden Windmeßgerät ermangelte. Das dringende Bedürfnis nach einem solchen Gerät wird in hohem Maße durch das Gerät befriedigt, das C. F. Casella-London nach den Angaben des Verfassers durchgebildet hat.

In einem senkrecht gestellten rechteckigen Rahmen ist nachspannbar ein 0,15 mm dicker versilberter Stahldraht horizontal gespannt; an dem Draht ist eine dünne quadratische Aluminiumscheibe nach Art einer Fahne nach unten freihängend angelötet. Trifft eine Luftströmung auf die Aluminiumfahne, so schwingt diese bis zu einer Gleichgewichtslage aus der vertikalen Ruhelage aus. Die Gleichgewichtslage hängt von dem Gewicht der Fahne und der Torsionsgegenkraft des Drahtes einerseits und dem auf die Fahne treffenden Luftstrom andererseits ab. Aus der Ablenkung der Fahne kann demnach die Strömungsgeschwindigkeit der Luft ermittelt werden, in ähnlicher Weise wie mit der Wildschen Druckplatte.

Die maximale Ablenkung beträgt ungefähr 30° und der Meßbereich findet bei der diesem Winkel entsprechenden Geschwindigkeit seine Grenze. Man kann ihn dadurch erweitern, daß man durch Tordieren des Drahtes die Fahne gegen den jeweiligen Luftstrom in die senkrechte Ruhelage bringt, wobei man nur das eine Drahtende zu verdrehen braucht, da das andere festgelegt ist. Durch dieses Verfahren wird gleichzeitig der Einfluß des Fahnengewichts ausgeschaltet; außerdem trifft dann die Strömung senkrecht auf die Fahne. Die Geschwindigkeit der Strömung wird aus dem Betrag der Torsion ermittelt, der erforderlich ist, um die Fahne vertikal zu stellen. Damit Störungen durch die Nähe des Beobachters vermieden werden, wird aus einer Entfernung von 60 cm beobachtet. Der Rahmen ist an dem kurzen Schenkel eines im rechten Winkel gebogenen Rohres befestigt; der gespannte Draht ragt in dieses Rohrstück hinein und ist über eine Kegelradübertragung mit einem in dem langen Rohrschenkel untergebrachten Stab verbunden. An der Rohrmündung ist eine Kreisskala angebracht, die der Stab durchstößt, der einen über der Skale spielenden Index trägt und in einem Drehknopf endet. Durch Drehen des Knopfes kann demnach die Fahne in senkrechte Lage gebracht werden. Kontrolliert wird die Einstellung mit Hilfe eines kleinen mit Fadenkreuz versehenen Ablesefernrohres, das so befestigt ist, daß man bei senkrechter Fahnenlage auf einem kreisrunden Planspiegel, der auf die Fahne gekittet ist, neben dem Fadenkreuz, in symmetrischer Lage zu diesem, die Bilder zweier Markierungslinien sieht. Der vom Index angezeigte Drehwinkel beträgt das Doppelte der tatsächlichen Torsionsbewegung. Das Gerät, das zum Transport in drei Teile zerlegt werden kann, wird bei dem Gebrauch auf einem Dreifußstativ befestigt und mit Hilfe von Libellen genau aufgestellt. Naturgemäß muß das Instrument durch Vergleich mit einem absoluten Gerät oder durch eine absolute Methode geeicht werden. Es erscheint sehr geeignet, dem Zweck, für den es gedacht ist, zu entsprechen.

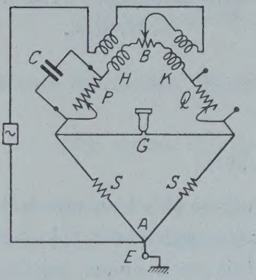
W. Keil.

Campbell-Kapazitäts-Meßbrücke.

(Campbell Capacitance Bridge.)

Liste Nr. 172 der *Campbell-Instrument Company Cambridge, Ltd.*, London.

Das von A. Campbell[1] angegebene Instrument ist in erster Linie für schnelle und bequeme Kapazitätsmessungen gedacht. Es besteht aus einer Wechselstrombrücke mit zwei gleichen festen Widerständen (S s. Abb.) in den Vergleichszweigen; während in den Meßzweigen gleiche, durch einen Stufendoppelschalter auf verschiedene Werte einstellbare Widerstände P und Q liegen. In Reihe mit diesen sind die Sekundärwicklungen eines Drehspuleninduktometers in beide Meßzweige eingeschaltet. Zwischen ihnen liegt eine Induktivitäts- sowie eine Widerstandsfeineinstellvorrichtung. Die Primärspulen des Induktometers werden vom Hauptstrom der Brücke durchflossen. Die Kapazitätsmessung geschieht (nach Abgleichen der Brücke ohne Kondensator) durch Parallelschaltung der Kapazität zu einem der passend gewählten Meßwiderstände (P) und Ausgleichen der hierdurch entstehenden Phasen- bzw. Amplitudenänderung mit Hilfe von Induktometer und Zusatzwiderstand. Aus den beobachteten Größen P, L und R lassen sich die Kapazität und, sofern er nicht sehr klein ist, auch der Verlustwinkel des angeschalteten Kondensators ermitteln. Der Meßbereich beträgt (nach Angaben der Firma) $1\,\mu\mu F$ bis $30\,\mu F$. Über die Genauigkeit der Messung wird nichts Näheres mitgeteilt, sie dürfte bei größeren Kapazitäten etwa $1\,\%$ betragen.



Zwei nahezu gleiche Kondensatoren können mit erheblich höherer Genauigkeit miteinander verglichen werden.

Die Brücke kann ferner in aus der Figur ersichtlicher Weise als Relativbrücke zur Ermittlung von kleinen Selbstinduktionen bis $300\,\mu H$ sowie von deren Wirkwiderständen verwendet werden. P wird dabei kurzgeschlossen, Q gegen die zu messende Selbstinduktion ausgetauscht. Wird P durch eingeschaltete Selbstinduktionsnormale ersetzt, so kann der Meßbereich noch erweitert werden. Große Selbstinduktionen (Eisenspulen) können nach der Dyeschen Methode[2] (durch Parallelschalten zu Q) bestimmt werden.

Der Apparat dient ferner zur Messung kleiner und zur angenäherten Bestimmung sehr großer Widerstände. Hier werden die sonst üblichen Wechselstromindikatoren (Telephon oder Vibrations-Galvanometer) durch Gleichstrom-Galvanometer ersetzt, sofern mit Gleichstrom gearbeitet wird.

Die Herstellung des in einen handlichen Kasten von den Abmessungen $42 \times 30 \times 21$ cm eingebauten Apparates erfolgt durch die obengenannte Firma. *Zickner.*

Bücherbesprechungen.

Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik. V. Bd, 2. Hälfte. Physik des Kosmos, herausgegeben von August Kopff. 8°. XII, 595 S. m. 139 Textfig. und 14 Taf. Friedr. Vieweg & Sohn A.G., Braunschweig 1928. Geb. 39,50 RM.

In den letzten zwei Jahrzehnten hat der Umfang der kosmischen Physik, insbesondere der der Astrophysik dermaßen zugenommen, daß selbst der Forscher dieses Gebiet nur mit Mühe überblicken kann. Der eigentliche Physiker würde sich, allein angewiesen auf die zahlreiche und sehr verstreute Originalliteratur, ganz unmöglich einen Überblick über den heutigen Stand dieses Forschungsgebietes verschaffen können. Gerade die interessanten Schlußweisen ebenso wie die oft zwar kühnen, aber um so fruchtbareren Arbeitshypothesen, denen die Astrophysik ihre besten Erfolge verdankt, die Ausblicke und Anregungen, die sie vermitteln, würden ihm unbekannt bleiben, wenn der Stoff keine übersehbare Zusammenfassung gefunden hätte. Unter den Werken, die diese Aufgabe erfüllen, muß an hervorragender Stelle genannt werden der Band „Kosmische Physik" des Müller-Pouilletschen Lehrbuches, das gegenwärtig in 11. Auflage erscheint.

---

[1] *Phys. Soc. Proc. XXXIX, S. 145. 1927. — Journ. Scient. Instr. **4.** S. 305. 1927.*

[2] *Experim. Wireless and Wireless Eng. **1.** S. 691. 1924.*

Das vorliegende Buch von A. Kopff, redigiert mit Beiträgen von neun als Fachleute anerkannten Mitarbeitern, kann mit voller Berechtigung die Bezeichnung: Standardwerk beanspruchen. Vorbildlich in der Gliederung des Stoffes vermittelt es dem Nichtfachmann einen ebenso gründlichen wie klaren Überblick über das physikalische Bild des Kosmos, das dem gegenwärtigen Stand unserer Erfahrung entspricht. Für den Leser mit allgemein physikalischer Vorbildung bedeutet auch die durch den Rahmen bedingte oft etwas knappe Darstellung keine Beeinträchtigung des umfassenden Eindruckes, den das Buch vermittelt.

Der Inhalt sei nachstehend kurz berichtet.

Der erste der drei Hauptabschnitte behandelt die allgemeinen Grundlagen und die Methoden der Astrophysik und beginnt mit einem Kapitel: Astronomische und physikalische Grundbegriffe.

P. ten Bruggencate und H. Kienle stellen hier sehr eindrucksvoll und klar das Rüstzeug an Begriffen und Tatsachen zusammen, das beherrscht werden muß von dem, der sich mit dem Forschungszweig beschäftigen will. Diese in ihrer Art und Anlage völlig neue Zusammenstellung ist eine unzweifelhaft wertvolle Bereicherung des astronomischen Schrifttums.

Im nächsten Kapitel beschäftigt sich J. Hopmann mit den Instrumenten des modernen Forschers und seinen Beobachtungsmethoden. Der Zweck der einzelnen zum größten Teil abgebildeten Instrumententypen, angefangen vom Meridiankreis bis zum Pyrheliometer, ebenso wie die Ziele der Beobachtungsmethoden sowie die gebräuchlichen Reduktionsverfahren und die unvermeidlichen Fehler, die auftreten, werden besprochen. Daß der Rahmen des Buches dazu zwingt, auf viele Einzelheiten zu verzichten, ist bedauerlich, denn gerade hier zeigt es sich, welches hochentwickelte Instrumentarium die Naturforschung von heute bedarf. Aber auch ohne dies vermittelt das Kapitel einen vollständigen Überblick, wie ihn ein Abriß der astronomischen Instrumentenkunde nicht besser geben kann.

Es folgt ein Kapitel, wieder aus der Feder von P. ten Bruggencate und H. Kienle, mit der Überschrift: Der Stern als strahlender Gasball. Die Ausführungen über die durch Arbeiten von Emden, Schwarzschild und in neuester Zeit durch die weit ausholenden Untersuchungen von Eddington in den Vordergrund der theoretischen Forschung gerückten Probleme, die sich leider noch in hohem Maße der Überprüfung durch die Beobachtung entziehen, sind sehr übersichtlich und verständlich zusammengefaßt. Das Kapitel zeichnet sich dadurch besonders aus, daß eine sorgfältig wägende Kritik aus der schwierigen Materie die nach dem heutigen Stande der Physik sich aufdrängenden Fragestellungen scharf herausarbeitet. Dadurch wird dem nichtfachmännischen Leser die Blickrichtung der Forschung überaus eindrucksvoll gekennzeichnet.

Nach diesen drei vorbereitenden Kapiteln folgt der Hauptabschnitt des Buches, in dem unter der Überschrift: Die Einzelergebnisse der astrophysikalischen Forschung in sieben Unterabschnitten der gegenwärtige Stand der Forschung umrissen wird. R. Emden behandelt die Sonne. Aus der Fülle der Beobachtungstatsachen entwickelt er in sorgfältig theoretischer Betrachtung ein physikalisches Bild von dem das Planetensystem beherrschenden Fixstern, wie es vollständiger nicht entworfen werden kann. Daß der Verfasser aus Eigenstem schöpfen kann, ist ein besonderer Vorzug seines Beitrages.

Über die Weltkörper des Sonnensystems trägt K. Graff ein interessantes Kapitel bei. Peinliche Sorgfalt bei den Beobachtungen auf einem Gebiet, das nur mehr wenig Ausbeute verspricht, haben eine Kritik ausgebildet, deren Schlüsse schlechthin als unangreifbar erscheinen.

Der einzelne Stern wird von C. Wirtz behandelt. Was die Astrophysik an Tatsachen über den einzelnen Fixstern sichergestellt hat und welche Fragen in Klärung begriffen sind und ihrer noch bedürfen, wird von dem Verfasser eindrucksvoll und klar zusammengefaßt.

Im folgenden Kapitel beschäftigt sich J. Hellerich mit den Doppelsternen und den Veränderlichen und gibt einen Überblick über zwei Gebiete, auf denen sich besonders in den letzten Jahrzehnt das Material an Beobachtungsergebnissen gehäuft hat, über zwei Gebiete, die mehr und mehr an Bedeutung gewonnen haben und die noch reiche Ausbeute versprechen.

Großen Umfang hat das nächste Kapitel angenommen, in dem E. v. d. Pahlen die Sternhaufen und Nebel behandelt. Hier tritt die Fruchtbarkeit astrophysikalischer Methoden und Betrachtungsweisen besonders deutlich zutage. Auch hier hat sich das Beobachtungsmaterial in dem letzten Jahren gewaltig gehäuft. Der Verfasser überblickt es aber und kann daher einen tiefen Einblick in die heutige Astrophysik vermitteln.

Eine überragende Leistung stellt der folgende Beitrag „Das Sternsystem“ dar. A. Kopff hat es mit Erfolg unternommen, die Fülle der Einzelerkenntnisse organisch zusammenzufügen und ein zeitgemäßes physikalisches Bild von Fixsternsystem zu entwerfen. Ausholend von den grundlegenden Arbeiten der Seeliger, Kapteyn und Schwarzschild läßt er die Grenzen des Fixsternraumes wachsen bis zu dem weiten Horizont, der dem heutigen Stande unserer Erfahrung entspricht. Der Eindruck wird durch die Tatsache wesentlich verstärkt, die herausgearbeitet wird, daß die Ansätze zu einer Dynamik des Kosmos sich häufen und die Erkenntnis von dem „typischen Sternsystem“ Seeligers zu dem wirklichen, von physikalischer Anschauung modellierten fortschreitet.

Ein kürzeres Kapitel, das den Abschnitt 3 ausmacht, ist den Problemen der Kosmogonie gewidmet. H. Kienle entwirft eine Geschichte der Entwicklung des Geschehens im Fixsternraum, versucht das Zeitmaß des Entwicklungsablaufes abzugrenzen und die Entwicklungsrichtung zu erfassen. Die anregenden Darstellungen werden gekennzeichnet durch ein streng physikalisch definiertes Fundament, auf dem dann die nach der physikalischen Erfahrung gegebenen Möglichkeiten diskutiert werden.

Ein Kapitel Relativitätstheorie von A. Kopff, das eine, wenn auch knappe, aber sehr systematische Darstellung dieser interessanten Anschauungen gibt, beschließt das inhaltsreiche Buch. *W. Keil.*

Alkoholometrische Tafeln zur einheitlichen Lösung von Aufgaben der Alkoholometrie. Alkoholometrische Reduktionstafeln zur Bestimmung der Menge reinen Alkohols im Liter (Hektolitergrade Alkohol) für die Normaltemperatur 15° C aus der wahren Stärke von 65 bis 100 Volumprozent und dem Sichtgewicht eines Branntweinquantums. 8°. VII, 213 S. bzw. IV, 163 S. beide Bände in 2. Aufl., herausgegeben vom Bundesamt für das Eich- und Vermessungswesen in Wien, 1927.

Die Herausgabe der beiden vorliegenden, technisch sehr gut ausgeführten Tafelsammlungen ist insofern zu begrüßen, als sie sich, ohne auf eine besondere Kritik der Grundlagen einzulassen, streng an die amtlichen deutschen Tafeln über die Beziehungen zwischen Dichte und Gewichtsprozenten von Alkohol-Wasser-Mischungen anschließen. Damit ist eine Einheitlichkeit der Alkoholometrie in beiden Ländern herbeigeführt. Ein Unterschied besteht leider noch darin, und seine Behebung ist dringend anzustreben, daß Österreich seine Tafeln für Raumprozente Alkohol berechnet, während Deutschland im Gegensatz zu fast allen in Frage kommenden Stellen amtlich an der Rechnung mit Gewichtsprozenten festhält. Der Übergang zwischen Raum- (v) und Gewichtsprozenten (g) in der Tafel wird durch die Gleichung:

$$v = 1{,}2905\, g \cdot d_{\frac{15}{15}}$$

gebildet, worin der Zahlenfaktor die reziproke Dichte reinen Alkohols bei 15° C, auf die Dichte von Wasser bei 15° als Einheit bezogen, darstellt, und $d_{\frac{15}{15}}$ entsprechend die Dichte der betr. Alkohol-Wassermischung bedeutet.

Die erste Tafelsammlung enthält demgemäß die Beziehungen der wahren Stärke zu der scheinbaren Dichte und Temperatur, in bekannter Anordnung, mit einer Anzahl von Hilfstafeln insbesondere für den Übergang zwischen Raum- und Gewichtsprozenten. Die zweite Sammlung gibt entsprechend die Beziehung der wahren Menge reinen Alkohols in Litern bei 15° C zu dem „Sichtgewicht“ (dem auf einer gewöhnlichen Waage ohne jede Korrektion ermittelten Gewicht) und den wahren Raumprozenten, sowie eine Tafel über die Beziehung der wahren Raumprozente zu der scheinbaren Stärke von 65% an aufwärts und Temperaturen von — 10° bis + 30°. Auch hier sind die bekannten notwendigen Zusatztafeln beigefügt. Beide Werke zusammen genügen für alle praktischen Fälle. *Block.*

Optik, Halbmonatsschrift für die Optische Industrie und verwandte Berufszweige. Eigentümer Herausgeber und Verleger: Dr. O. Waldstein und Dr. A. Perschat in Wien.

Die neue Zeitschrift bezeichnet sich als Amtl. Organ der Genossenschaft der Optiker in Wien und des Fachverbandes österr. Ladenoptiker im N.-Ö. Gewerbeverein. Der Inhalt des ersten Heftes trägt den Interessen dieser Kreise Rechnung. Die Namen der Mitarbeiter lassen für die neue Zeitschrift Gutes erhoffen. *G*

Nachdruck verboten

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **August 1928.** Achtes Heft.

Abänderung der gesetzlichen Temperaturskala.

Von

F. Henning und **J. Otto.**

(Mitteilung aus der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.)

Das Gesetz über die Temperaturskala und die Wärmeeinheit vom 7. August 1924[1]) bestimmt, daß die Physikalisch-Technische Reichsanstalt die in § 1, Abs. 1 dieses Gesetzes näher bezeichnete gesetzliche Temperaturskala festzulegen und bekannt zu machen hat. Dieser Bestimmung entsprechend hat die Reichsanstalt am 20. September 1924 eine Bekanntmachung über die gesetzliche Temperaturskala veröffentlicht[2]).

Nach eingehenden Verhandlungen haben die drei großen nationalen Institute, das Bureau of Standards in Washington, das National Physical Laboratory in Teddington (bei London) und die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Charlottenburg im Herbst des Jahres 1927 einen gemeinsamen Entwurf für eine internationale Temperaturskala aufgestellt, der von der *Conférence Générale des Poids et Mesures* in Paris am 4. Oktober 1927 einstimmig angenommen wurde und somit internationale Geltung erlangt hat. Im wesentlichen sind die im Deutschen Gesetz und in der darauf bezüglichen Bekanntmachung der Reichsanstalt enthaltenen Bestimmungen zur Annahme gelangt. Die geringen verbleibenden Unterschiede erfordern, damit die gesetzliche Skala mit der internationalen in voller Übereinstimmung steht, eine Abänderung der Bekanntmachung vom 20. September 1924. Das ist in folgender Weise im *Reichsministerialblatt Nr. 28. S. 253—254. 1928* geschehen:

Bekanntmachung über die gesetzliche Temperaturskala.

Nachdem durch die internationale Generalkonferenz für das Gewichts- und Maßwesen in Paris am 4. Oktober 1927 eine internationale Temperaturskala angenommen ist[3]), wird Abschnitt I der Bekanntmachung über die gesetzliche Temperaturskala und die Prüfung von Thermometern (Reichsministerialblatt 1924, Nr. 40) vom 20. September 1924 mit Wirkung vom 1. Juli 1928 aufgehoben. Gleichzeitig wird in Übereinstimmung mit den internationalen Beschlüssen auf Grund von § 1, Abs. 2 des Gesetzes über die Temperaturskala und die Wärmeeinheit vom 7. August 1924 (Reichsgesetzblatt I. S. 679. 1924) die gesetzliche Temperaturskala in folgender Weise festgelegt:

---

[1]) *Reichsgesetzblatt 1924, Nr. 52, S. 679—680; diese Zeitschr.* **44.** *S. 517. 1924; Zeitschr. f. Phys.* **29.** *S. 392. 1924; Ann. d. Phys.* **75.** *S. 851. 1924.*

[2]) *Reichsministerialblatt 1924, Nr. 40.*

[3]) *Comptes rendus des séances de la septième conférence générale des poids et mesures réunie à Paris 1927. Paris 1928, S. 56—58.*

1. Die gesetzliche Temperaturskala beruht einerseits auf einer Anzahl fester und stets wiederherstellbarer Gleichgewichtstemperaturen, denen bestimmte Zahlenwerte zuerteilt werden, andererseits auf den Angaben von Interpolationsinstrumenten, die nach bestimmten Vorschriften bei den Festpunkten geeicht werden.

2. Die folgende Zusammenstellung enthält die grundlegenden Festpunkte und die ihnen für den Druck einer normalen Atmosphäre zuerteilten Zahlenwerte nebst den Formeln, welche die Temperatur t_p in Abhängigkeit von dem Druck p im Bereich von 680 bis 780 mm Quecksilber darstellen.

a) Gleichgewichtstemperatur zwischen flüssigem und dampfförmigem Sauerstoff bei dem Druck einer normalen Atmosphäre (Sauerstoffpunkt) — 182,97°

$$t_p = t_{760} + 0{,}0126\,(p - 760) - 0{,}0000065\,(p - 760)^2.$$

b) Gleichgewichtstemperatur zwischen Eis und luftgesättigtem Wasser bei dem Druck einer normalen Atmosphäre (Eispunkt) 0,000°

c) Gleichgewichtstemperatur zwischen Wasser und seinem Dampf bei dem Druck einer normalen Atmosphäre (Dampfpunkt) 100,000°

$$t_p = t_{760} + 0{,}0367\,(p - 760) - 0{,}000023\,(p - 760)^2.$$

d) Gleichgewichtstemperatur zwischen flüssigem Schwefel und seinem Dampf bei dem Druck einer normalen Atmosphäre (Schwefelpunkt) 444,60°

$$t_p = t_{760} + 0{,}0909\,(p - 760) - 0{,}000048\,(p - 760)^2.$$

e) Gleichgewichtstemperatur zwischen festem und flüssigem Silber bei dem Druck einer normalen Atmosphäre (Silberpunkt) 960,5°

f) Gleichgewichtstemperatur zwischen festem und flüssigem Gold bei dem Druck einer normalen Atmosphäre (Goldpunkt) 1063°

Als Druck einer normalen Atmosphäre gilt der Druck, den eine Quecksilbersäule von 760 mm Höhe bei einer Dichte des Quecksilbers von 13,5951 g/cm³ an einem Ort mit der Schwerebeschleunigung 980,665 cm/sec² ausübt. Dieser Druck ist gleich 1013250 dyn/cm².

3. Entsprechend den Methoden für die Interpolation wird die Temperaturskala in vier Teile zerlegt.

a) Zwischen dem Eispunkt und 660° wird die Temperatur t aus dem Widerstand R_t eines normalen Platin-Widerstandsthermometers mittels der Beziehung

$$R_t = R_0\,(1 + A \cdot t + B \cdot t^2)$$

abgeleitet. Die Konstanten R_0, A und B dieser Formel sind durch Eichung des Thermometers beim Eis-, Dampf- und Schwefelpunkt zu ermitteln.

Die Reinheit und physikalische Beschaffenheit des Platins, aus dem das normale Platin-Widerstandsthermometer hergestellt ist, soll derart sein, daß das Verhältnis R_t/R_0 für $t = 100°$ nicht kleiner als 1,390 und für $t = 444{,}60°$ nicht kleiner als 2,645 ist.

b) Zwischen — 190° und dem Eispunkt wird die Temperatur aus dem Widerstand R_t eines normalen Platin-Widerstandsthermometers mit Hilfe der Beziehung

$$R_t = R_0\,[1 + A \cdot t + B \cdot t^2 + C\,(t - 100)\,t^3]$$

abgeleitet. Die Konstanten R_0, A und B sind in der unter a) angegebenen Weise zu bestimmen, während die Konstante C durch Eichung am Sauerstoffpunkt gewonnen wird.

Für den Gebrauch unterhalb 0° muß das normale Platin-Widerstandsthermometer bei $t = -183°$ ein Widerstandsverhältnis R_t/R_0 besitzen, das kleiner als 0,250 ist.

c) Zwischen 660° und dem Goldpunkt wird die Temperatur aus der elektromotorischen Kraft e eines normalen Thermoelementes mit Schenkeln aus Platin und Platinrhodium abgeleitet, dessen eine Lötstelle sich auf der Temperatur 0° befindet, während die andere Lötstelle der Temperatur t ausgesetzt wird, die nach der Beziehung

$$e = a + b\,t + c\,t^2$$

zu bestimmen ist.

Die Konstanten a, b und c werden durch Eichung bei dem Erstarrungspunkt von Antimon, sowie am Silber- und Goldpunkt ermittelt.

Die Erstarrungstemperatur des verwendeten Antimons ist mit Hilfe eines nach den Vorschriften unter a) geeichten normalen Platinwiderstandsthermometers zu bestimmen. Sie beträgt für reines Antimon nahe 630,5°.

Das Thermoelement muß so beschaffen sein, daß am Goldpunkt die elektromotorische Kraft e nicht kleiner als 10200 und nicht größer als 10400 Mikrovolt ist. Der Platindraht des Elementes muß von solcher Reinheit sein, daß das Verhältnis R_{100}/R_0 seines elektrischen Widerstandes bei 100° und 0° nicht kleiner als 1,390 ist.

d) Oberhalb des Goldpunktes wird die Temperatur durch das bei der Wellenlänge λ sichtbaren Lichtes beobachtete Intensitätsverhältnis $\frac{J}{J_{Au}}$ der Strahlung eines schwarzen Körpers bei den Temperaturen t und der Temperatur des Goldpunktes nach der Beziehung

$$\log \text{nat} \frac{J}{J_{Au}} = \frac{c}{\lambda}\left[\frac{1}{1336} - \frac{1}{t + 273}\right]$$

bestimmt, falls $\lambda \cdot (t + 273)$ kleiner als 0,3 cm · Grad ist. Die Konstante c hat den Wert 1,432 · Grad.

Berlin-Charlottenburg, den 3. April 1928.

Der Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt.
(gez.) Paschen.

Im folgenden ist dargelegt, welche Unterschiede zwischen der alten Temperaturskala vom 20. September 1924 und der neuen Temperaturskala, die vom 1. Juli 1928 ab Gültigkeit haben soll, bestehen. Die Rechnungen sind mit Thermometern ausgeführt, wie sie in der Reichsanstalt zur genauen Temperaturmessung benutzt werden.

A. Temperaturbereich von 0° bis 660°.

In diesem Bereich wird die Temperaturdefinition sowohl nach der alten, als auch nach der neuen Bestimmung durch ein Platinwiderstandsthermometer gegeben, dessen Widerstandsverhältnis R_t/R_0 (gemessen bei der Temperatur t^0 und der Temperatur 0°) zu $R_t/R_0 = 1 + A\,t + B\,t^2$ angesetzt wird. Auch die Regeln, nach denen die Konstanten R_0, A und B zu bestimmen sind, bleiben die gleichen, ebenso wie die Temperaturwerte, welche den drei Festpunkten zuzuordnen sind. Nur der Geltungsbereich ist ein wenig verschieden; er erstreckt sich nach der neuen Bestimmung bis 660°, nach der alten nur bis zum Erstarrungspunkt des Antimons, d. h. bis etwa 630°. Von 0 bis 630° bestehen also zwischen der alten und der neuen Skala keinerlei Unterschiede.

B. Temperaturbereich von — 190° bis 0°.

Auch nach der alten Bestimmung ist die Temperatur in diesem Bereich aus dem Widerstand R eines Platindrahtes abzuleiten und zwar aus der Beziehung $R_t/R_0 = 1 + A_1\,t + B_1\,t^2 + C_1\,t^4$, in der die vier Konstanten R_0, A_1, B_1 und C_1 durch Beobachtung des Widerstandes R bei den Temperaturen des schmelzenden Eises und schmelzenden Quecksilbers, sowie am normalen Sublimationspunkt der Kohlensäure und dem normalen Siedepunkt des Sauerstoffes zu ermitteln sind. Die neue Bestimmung bedeutet eine erhebliche Vereinfachung insofern, als neben den bereits für den Temperaturbereich von 0° bis + 660° eingeführten Festpunkten nur noch der normale Siedepunkt des Sauerstoffes als neuer Festpunkt hinzukommt. Zu bemerken ist, daß der Zahlenwert für diesen

Festpunkt nunmehr auf — 182,97° festgesetzt wurde, während er bisher zu — 183,00° angenommen war. Die Formel für die Abhängigkeit der Siedetemperatur vom Druck ist unverändert geblieben.

Für Widerstandsthermometer Nr. 32 sind folgende Werte des Widerstandsverhältnisses $w = R_t/R_0$ ermittelt worden[1]).

Tabelle 1.

Festpunkte	Temperatur alte Skala	Temperatur neue Skala	R_t/R_0
Siedepunkt des Sauerstoffs	— 183,00°	— 182,97°	0,24631
Sublimationspunkt der Kohlensäure	— 78,50°	—	0,68419
Schmelzpunkt des Quecksilbers	— 38,87°	—	0,84472
Schmelzpunkt des Eises	0,000°	0,000°	1,00000
Siedepunkt des Wassers	100,000°	100,000°	1,39141
Siedepunkt des Schwefels	444,60°	444,60°	2,65044

Hieraus folgt nach der bisherigen Festsetzung:

$$(R_t/R_0)_a = 1 + 3{,}96666 \cdot 10^{-3}\, t - 0{,}69334 \cdot 10^{-6}\, t^2 - 0{,}0040774 \cdot 10^{-9}\, t^4 .$$

Nach der neuen Festsetzung:

$$(R_t/R_0)_n = 1 + 3{,}97270 \cdot 10^{-3}\, t - 0{,}58594 \cdot 10^{-6}\, t^2 - 0{,}0041483 \cdot 10^{-9} \cdot (t - 100)\, t^3 .$$

In der nachstehenden Tabelle 2 sind die Widerstandsverhältnisse $w = R_t/R_0$ nach diesen beiden Formeln von 10 zu 10° und die Temperaturunterschiede nach der alten und neuen Skala berechnet. Die Unterschiede übersteigen an keiner Stelle die zur Zeit verbürgbare Genauigkeitsgrenze.

Tabelle 2.

t	w_A	w_N	$w_A - w_N$ 0,000	t neu — alt
— 190°	0,21599	0,21578	+ 21	+ 0,048°
— 180	0,25926	0,25916	+ 10	+ 0,023
— 170	0,30222	0,30220	+ 2	+ 0,005
— 160	0,34491	0,34495	— 4	— 0,009
— 150	0,38734	0,38741	— 7	— 0,017
— 140	0,42951	0,42961	— 10	— 0,023
— 130	0,47145	0,47155	— 10	— 0,023
— 120	0,51317	0,51326	— 9	— 0,022
— 110	0,55468	0,55475	— 7	— 0,017
— 100	0,59599	0,59604	— 5	— 0,012
— 90	0,63712	0,63714	— 2	— 0,005
— 80	0,67809	0,67811	— 2	— 0,005
— 70	0,71884	0,71880	+ 4	+ 0,010
— 60	0,75945	0,75939	+ 6	+ 0,015
— 50	0,79991	0,79982	+ 9	+ 0,022
— 40	0,84021	0,84012	+ 9	+ 0,022
— 30	0,88037	0,88028	+ 9	+ 0,022
— 20	0,92039	0,92031	+ 8	+ 0,020
— 10	0,96026	0,96021	+ 5	+ 0,012
0	1,00000	1,00000	± 0	± 0,000

Zwischen 0° und 630° bestehen keine Unterschiede.

C. Temperaturbereich von 660° bis zum Goldschmelzpunkt.

Die elektromotorische Kraft e eines Thermoelementes aus Platin gegen Platinrhodium ist in ihrer Abhängigkeit von der Temperatur nach der bisherigen Bestimmung nicht durch eine

[1]) Vgl. F. Henning, *Ann. d. Phys.* **40.** *S. 649. 1913*; F. Henning und W. Heuse, *Zeitschr. f. Phys.* **23.** *S. 100. 1924*.

quadratische, sondern durch eine kubische Gleichung gegeben. Während bisher die Eichung des Thermoelementes an den Schmelzpunkten der vier Metalle Zink, Antimon, Silber und Gold erfolgte, kommt künftig die Eichung am Zinkpunkt in Fortfall. Die Zahlenwerte der Festpunkte bleiben ungeändert.

Für zwei mit D_3 und D_4 bezeichnete Thermoelemente wurden folgende Mittelwerte der elektromotorischen Kraft e gemessen:

Tabelle 3.

Festpunkte	Temperatur (alte und neue Skala übereinstimmend)	e Mikrovolt
Schmelzpunkt von Zink	419,45°	3438
„ „ Antimon . . .	630,5	5538
„ „ Silber	960,5	9145
„ „ Gold	1063	10341

Hieraus folgt nach der bisherigen Festsetzung:

$$e_A = -215{,}122 + 7{,}84059\,t + 0{,}0021396\,t^2 - 0{,}16324 \cdot 10^{-6}\,t^3$$

und nach der neuen Festsetzung:

$$e_N = -320{,}205 + 8{,}21552\,t + 0{,}0017063\,t^2.$$

Die folgende Tabelle 4 enthält die nach diesen Formeln berechneten elektromotorischen Kräfte und die dadurch gewonnenen Unterschiede zwischen der nenen und der alten Temperaturskala. Auch in diesem Falle liegen die Unterschiede innerhalb der Grenzen der Beobachtungsgenauigkeit.

Tabelle 4.

t	e_A	e_N	$e_A - e_N$	t neu — alt
630°	5532,9	5532,8	+ 0,1	+ 0,01°
640	5636,5	5636,6	— 0,1	— 0,01
660	5844,8	5845,3	— 0,5	— 0,05
680	6054,5	6055,3	— 0,8	— 0,08
700	6265,7	6266,7	— 1,0	— 0,10
720	6478,3	6479,5	— 1,2	— 0,12
740	6692,4	6693,6	— 1,2	— 0,12
760	6907,9	6909,2	— 1,3	— 0,13
780	7124,8	7126,0	— 1,2	— 0,12
800	7343,1	7344,2	— 1,1	— 0,11
820	7562,8	7563,8	— 1,0	— 0,10
840	7783,9	7784,8	— 0,9	— 0,09
860	8006,4	8007,1	— 0,7	— 0,07
880	8230,3	8230,8	— 0,5	— 0,05
900	8455,5	8455,9	— 0,4	— 0,04
920	8682,1	8682,3	— 0,2	— 0,02
940	8910,0	8910,1	— 0,1	— 0,01
960	9139,3	9139,2	+ 0,1	+ 0,01
980	9369,9	9369,7	+ 0,2	+ 0,02
1000	9601,8	9601,6	+ 0,2	+ 0,02
1020	9835,1	9834,8	+ 0,3	+ 0,03
1040	10069,7	10069,5	+ 0,2	+ 0,02
1060	10305,5	10305,4	+ 0,1	+ 0,01
1063	10341	10341	0,0	± 0,00

D. Temperaturbereich oberhalb des Goldschmelzpunktes.

Die einzige in diesem Temperaturbereich eingeführte Änderung bezieht sich auf den Zahlenwert der Strahlungskonstante c, der früher zu 1,43 cm·Grad angenommen wurde und künftig als 1,432 cm·Grad angesetzt wird. Dadurch werden die in der neuen Skala ermittelten Temperaturen um

$$\Delta T = 0{,}0014 \cdot \frac{T}{1336} (T - 1336)^0$$

niedriger als die Temperaturen in der alten Skala.

Hiernach ergeben sich die in der folgenden Tabelle zusammengestellten Temperaturunterschiede:

Tabelle 5.

T	T neu — alt
1336	± 0,0
1500	— 0,3
2000	— 1,4
2500	— 3,1
3000	— 5,2
3500	— 7,9
4000	— 11,2

Auch in diesem Falle bleiben die Unterschiede innerhalb der Grenzen der Meßgenauigkeit.

E. Zusammenfassung.

Die durch internationale Festsetzungen notwendig gewordene Abänderung der gesetzlichen Temperaturskala ergibt gegen die frühere Skala Temperaturunterschiede, die an allen Stellen innerhalb der Grenzen der Meßgenauigkeit bleiben.

Drahtlose Fernsteuerung von Koinzidenzapparaten bei relativen Schweremessungen.

Von
Vermessungsrat Ing. **Ernst Berger** in Wien.

(Mit einer Beschreibung der Apparatur von Dr. Ing. Egon Brückner in Wien.)

Die Ausführung relativer Schweremessungen mit invariablen Pendeln nach v. Sterneck erfordert nächst dem scharfen Erfassen der Koinzidenzen zwischen den Schwingungen des invariablen Arbeitspendels und den Sekundenschlägen der Vergleichsuhr die möglichst genaue Kenntnis des „Ganges“ dieser Vergleichsuhr. In den ersten Jahren[1]), in welchen nach der v. Sterneckschen Methode gearbeitet wurde, mußten zu diesem Zwecke vor und nach jeder Pendelbeobachtungsserie, also in den Abend- und den darauffolgenden Morgenstunden, Zeitbestimmungen nach Sternpassagen vorgenommen werden, was zeitraubend und umständlich war, da es die Mitnahme eines Passageninstrumentes und einen Pfeilerbau auf jeder Station erforderte, außerdem aber die sonst bei jeder Witterung durchführbaren Pendelmessungen in eine unerwünschte Abhängigkeit von der Bewölkung des Himmels brachte.

Mit der Einführung der auf drahtlosem Wege ausgesendeten Zeitzeichen, besonders der wissenschaftlichen Zeitzeichen, der Koinzidenzsignale, fielen diese Schwierigkeiten weg, da es nunmehr ohne Sternbeobachtungen möglich war, den Stand der Arbeitsuhr täglich 4—6 mal mit einer inneren Übereinstimmung von wenigen Tausendsteln der Zeitsekunde zu bestimmen und daraus die für die Reduktion der Pendelmessungen notwendige Kenntnis des Uhrganges zu gewinnen.

---

[1]) *Mitt. des K. K. Militärgeogr. Institutes* **2.** *Bd. 1882 und* **3.** *Bd. 1883.*

Schon frühe[1]) hat v. Sterneck selbst vorgeschlagen, Referenzbeobachtungen durchzuführen, indem in der Ausgangsstation gleichzeitig mit den Messungen in den Außenstationen fortlaufend Pendelbeobachtungen vorgenommen werden, wobei die Koinzidenzapparate der Innen- und der Außenstation durch dieselbe gemeinsame Uhr betätigt werden, so daß durch die Bildung der Differenz die dem Uhrgange anhaftende Unsicherheit vollkommen eliminiert wird.

So bestechend nun dieser Gedanke auch sein mag — da die Mitnahme der Uhr in die Außenstationen entfällt und die in der Innenstation dauernd aufgehängte Pendeluhr sicher gleichmäßigere Gangresultate erwarten lassen darf, als wenn sie jeden dritten oder vierten Tag einen Wagentransport mitmachen und wieder in einem anderen Raume neu aufgehängt und in Gang gebracht werden muß —, die praktische Verwirklichung stößt in der Regel auf Schwierigkeiten, denn die Drahtleitungen, welche die Arbeitsuhr mit den Koinzidenzapparaten verbinden, sind bei größerer Entfernung der Außenstation kostspielig und in verbautem Gelände leicht Beschädigungen ausgesetzt.

Es lag daher der Gedanke nahe, die Verbindung zwischen der gemeinsamen Arbeitsuhr und den Koinzidenzapparaten auf drahtlosem Wege herzustellen. Die Erwähnung dieser Idee findet sich in manchen Abhandlungen über Schweremessungen, u. a. bei R. Ambronn, Methoden der angewanden Geophysik[2]), doch ist, soweit dem Verfasser bekannt, die praktische Durchführung noch nirgends mit Erfolg versucht worden.

Die ungeheuren Fortschritte, welche die drahtlose Sende- und Empfangstechnik, speziell auf dem Gebiete der kurzen Wellen, in den letzten Jahren gemacht hat, ermutigten mich, einen schon seit Jahren gefaßten Plan, den der drahtlosen Fernsteuerung von Koinzidenzapparaten, durch Kurzwellen zur Ausführung zu bringen, und so wurde im Oktober v. J. im Bundesamte für Eich- und Vermessungswesen in Wien in Zusammenarbeit mit Herrn Dr. Ing. Egon Brückner eine Apparatur ausgearbeitet und erprobt, welche es ermöglicht, die Fernsteuerung von Koinzidenzapparaten auf drahtlosem Wege zu bewirken.

Herr Dr. Ing. Brückner wird nachstehend eine Beschreibung der Apparate geben.

Apparatur zur Aufnahme und Registrierung drahtlos übermittelter Signale.

Von Dr. Ing. Egon Brückner in Wien.

Nach der Methode von E. Berger werden die Impulse der Arbeitsuhr, welche die Schwingungsdauer des v. Sterneckschen Pendels kontrollieren soll, dahin nutzbar gemacht, daß bei jedem zweiten Sekundenschlag des Uhrpendels ein Kontakt geschlossen wird, welcher über ein Relais auf das Steuergitter eines Röhrensenders derart wirkt, daß im Augenblick des Stromschlusses in der Uhr durch die Antenne eine kurzdauernde Schwingung ausgestrahlt wird. Die Dauer des Impulses darf einen minimalen Grenzwert nicht unterschreiten, da einerseits zur Aufschaukelung der Energie in den Hochfrequenzkreisen eine bestimmte Zeit, die Anschwingzeit, notwendig ist und andererseits beim Empfang der ausgesendeten Zeichen aus praktischen Erwägungen eine minimale Dauer der Signale von einigen Zehntel Sekunden erwünscht ist. Für die Beobachtung im Koinzidenzapparat, wo eine viel kürzere Dauer der Lichtblitze erforderlich ist, wird nur der Beginn des Impulses, der stets mit der gleichbleibenden Verzögerung der Anschwingzeit behaftet ist, durch den im späteren beschriebenen Apparat von Berger-Kleinecke nutzbar gemacht.

Die von der Senderantenne ausgestrahlten Energieimpulse werden in der Beobachtungsstation mit einem auf die Wellenlänge der Sendestation abstimmbaren Empfänger zunächst als Punktsignale hörbar gemacht. Bei den im Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen durchgeführten Versuchen wurde mit einem Kurzwellensender von 150 Watt Anodenaufnahme und einer Wellenlänge von 40 m gearbeitet, da mit diesen Frequenzen bei verhältnismäßig geringer Energie außerordentliche

---

[1]) *Mitt. der K. K. Militärgeogr. Institutes* **3.** *Bd. 1883, S. 63.*

[2]) Th. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1926. *S. 15.*

Reichweite erzielt werden kann und die Selektivität der Empfangsgeräte bei geringer Röhrenanzahl eine bei Langwellenapparaten nicht zu erreichende Störungsfreiheit verbürgt.

Abb. 1 zeigt das prinzipielle Schaltungsschema, Abb. 2 die Ansicht eines Empfangsgerätes. Als Antenne dient eine, einschließlich der Zuleitung zum Apparat etwa 8 m lange L-Antenne, welche entweder an die aperiodische Antennenspule L_1 von 5 Windungen oder in galvanischer Ankopplung direkt an die Gitterkreisspule L_2 angeschlossen werden kann. Die Erdleitung wird entweder an das zweite Ende der aperiodischen Antennenspule oder an die Kathode angeschlossen. Die Gitterkreis- und Rückkopplungsspule L_2 besteht aus 12 Windungen versilberten, dünnwandigen Messingrohres, das von 3 Pertinaxleisten getragen wird. 5—7 Windungen dieser Spule können mittels variabler Anklemmung parallel zum Abstimmdrehkondensator C_1 (Kapazität 300 cm) geschaltet werden, womit eine Abstimmung auf den Wellenbereich von 20—65 m ermöglicht wird. Die restlichen Windungen der Spule dienen zur induktiven Rückkopplung, welche durch den Drehkondensator C_2 (Kapazität 300 cm) kapazitiv regelbar ist. Der Gitterableitwiderstand W von 2 Megohm kann mittels eines die Heizbatterie überbrückenden Potentio-

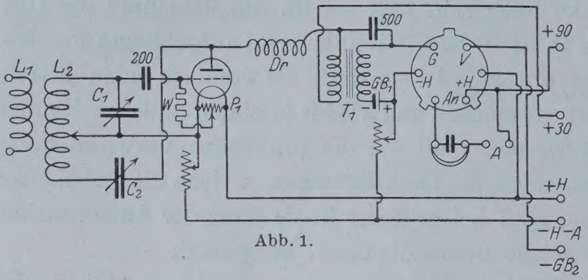


Abb. 1.

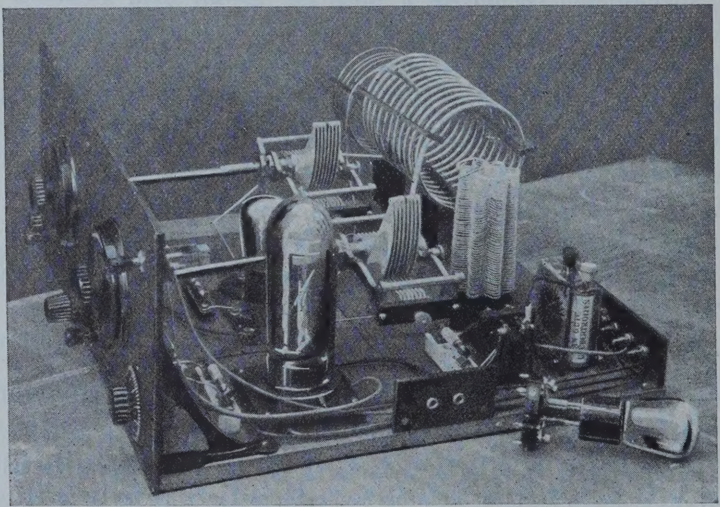


Abb. 2.

meters P_1 von 1000 Ohm an den günstigsten Spannungswert gelegt werden, wodurch ein weiches Einsetzen der Schwingung leicht zu erzielen ist. Über die freitragend gewickelte Hochfrequenzdrossel *Dr* (im Bilde 2 vor der Gitterkreisspule stehend) gelangt die Audionfrequenz zum Niederfrequenztransformator T_1, welcher die bereits hörbaren Impulse einer kräftigen Niederfrequenzverstärkung zuführt. Wegen der kompendiösen Form wurde für diesen Zweck die 3 *NF*-Röhre der Firma Loewe, Berlin, gewählt, welche im Falle genügend großer Empfangsenergie mittels eines von mir erstmalig ausgeführten Übergangssockels durch eine normale Eingitterröhre ersetzt werden kann. In Abb. 2 liegt vor dem Empfangsgerät die Eingitterröhre mit dem Übergangssockel, der nach unten in den 6 poligen Sockel der Loewe-3 *NF*-Röhre paßt und nach oben einen normalen Röhrensockel trägt, die oberen und unteren Kontakte sind entsprechend leitend verbunden. Der Übergang von der Dreifach- zur Einfachverstärkung ist durch bloßes Austauschen der Röhren mit einem Griff bewerkstelligt. Im Anodenkreis der 3 *NF*-Röhre liegen in Serie

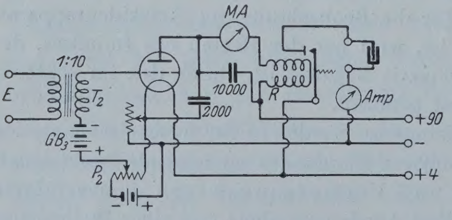


Abb. 3.

mit dem den Empfang kontrollierenden Kopfhörer oder Lautsprecher (die Anschlußbuchsen hierfür befinden sich an der Frontplatte des Empfängers) die Ausgangsbuchsen A (in Abb. 2 rechts vorn), welche mittels Doppelsteckers an die Eingangsbuchsen E (in Abb. 4 links vorn) des Registriergerätes geschaltet werden, dessen Schaltschema Abb. 3 zeigt, während Abb. 4 die photographische Ansicht des Apparates bringt. Ein Niederfrequenztransformator T_2 mit dem Übersetzungsverhältnis 1 : 10 überträgt die ihm primärseitig zugeführten niederfrequenten Wechselströme sekundärseitig auf das Steuergitter einer in Anodengleichrichtung geschalteten Elektronenröhre von möglichst großer Steilheit und Emission, z. B. Philips B 405, B 406 oder B 409. Im Anodenkreis dieser Röhre sind in Serie geschaltet ein Milliamperemeter MA und ein Relais R; mit ersterem wird zunächst bei unbelastetem Eingang kontrolliert, ob die der Batterie GB 3 entnommene Gittervorspannung genügt, um den Anodenstrom vollkommen abzudrosseln. Die Batterie GB 3 ist von $1^1/_2$ zu $1^1/_2$ V stöpselbar und erhält als Zusatz eine mit einem Potentiometer P_2 überbrückte Taschenlampenbatterie von $4^1/_2$ V, deren $+$ Pol am negativen Pol der Heizbatterie liegt. Es wird dadurch eine stetige Veränderung der Gittervorspannung ermöglicht, während ein rascher Verbrauch der gesamten Batterie CB 3 durch Potentiometerstrom vermieden wird. Im Betrieb dient das Milliamperemeter zur Beobachtung der Empfangsintensität der eintreffenden Zeichen, welche etwa 2 mA. betragen muß, wenn das Relais verläßlich arbeiten soll.

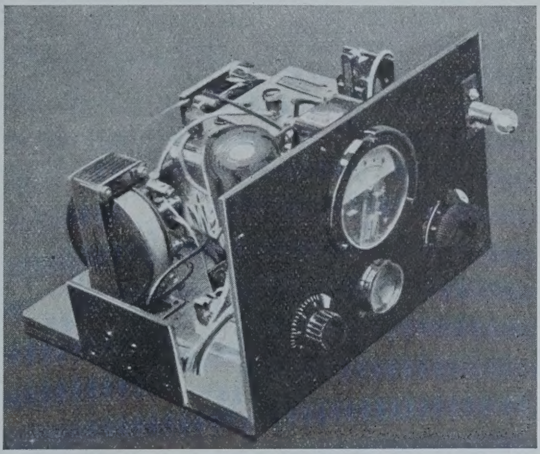


Abb. 4.

Das Relais besteht aus einem Lautsprechermagnetsystem, dessen Spulen einen Widerstand von 4000 Ω besitzen, wodurch eine geringe Hysteresis und dadurch wieder ein sehr exaktes Ansprechen gewährleistet ist. Die Platinkontakte, welche etwa 0,1 – 0,2 mm von einander entfernt sind, bewirken die Schließung eines der Heizbatterie entnommenen Stromkreises, in welchem ein Kontroll-Amperemeter A. M. und die Ausgangsanschlüsse liegen; bei den ersten Versuchen wurde dort ein 4 V-Lämpchen angesteckt (siehe Abb. 4 rechts oben), welches bei den eintreffenden Signalen aufleuchtete. Es war das nächstliegende, diese bei jedem zweiten Sekundenschlag der Arbeitsuhr aufscheinenden Lichtblitze direkt zur Ablesung der Koinzidenzen im v. Sterneckschen Apparat zu verwenden, doch erwies sich diese Methode als nicht brauchbar, da, wie schon eingangs erwähnt, die Impulse eine Dauer von einigen Zehntel Sekunden haben müssen — z. B. braucht der Glühfaden des Lämpchens diese Zeit, um auf Weißglut zu kommen und wieder zu erkalten —, während zur Erzielung eines scharfen Blitzbildes im Fernrohr der Lichtimpuls wesentlich kürzer dauern muß. Der Kontakt des Relaisstromkreises wird daher verwendet, um auf elektromagnetischem Wege eine Scheibe mit Schlitzen weiter-

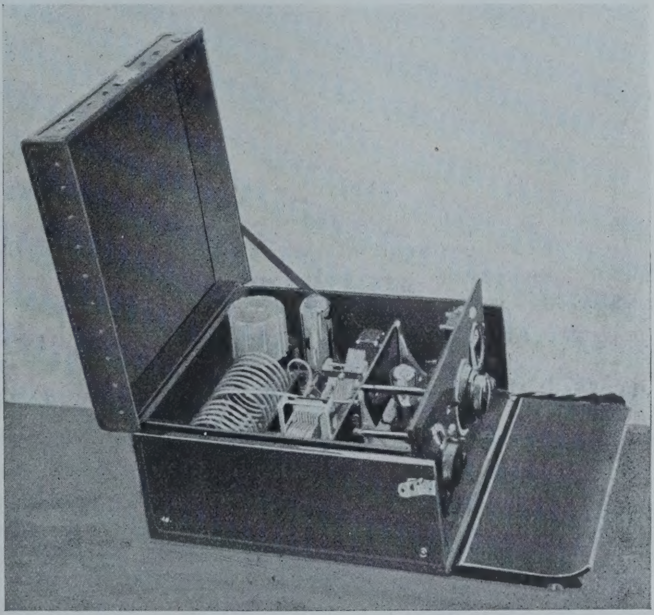


Abb. 5.

zubewegen, hinter welcher eine konstante starke Lichtquelle angebracht ist, wie dies im Folgenden noch beschrieben wird. Immerhin gehen die Versuche dahin, die Auslösung der Fortbewegung dieser Scheibe nicht mehr durch einen mit Relaisstrom gespeisten Magneten, sondern direkt durch den Relaismagneten zu bewirken.

Die Verwendung der gesamten Apparatur auf schwer zugänglichen Außenstationen und eine gewisse Mobilität dieses „Uhrersatzes" ließ eine möglichst gedrängte und leicht transportable Form des Gerätes wünschenswert erscheinen. Abb. 5 zeigt einen Reisekofferapparat, welcher in ökonomischer Raumausnützung den Kurzwellenempfänger und das Registriergerät auf gemeinsamem Paneel enthält, aus Abb. 6 ist der aus dem Koffer gezogene Apparat in seinem inneren Aufbau deutlich zu ersehen. Auf einem Subpaneel sind die beiden Drehkondensatoren, C_1 zur Abstimmung des Gitterkreises und C_2 zur kapazitiven Rückkopplung, angebracht, die zugehörigen Skalenscheiben sind, um eine Verstimmung der Apparatur durch Handkapazität zu vermeiden, auf der Frontplatte befestigt und mit 12 cm langen Hartgummistäben mit den Kondensatorachsen gekoppelt. Die Drosselspule Dr ist hier wegen der gedrängten Bauart als freitragende Oktodynspule mit geringem äußeren Feld ausgeführt. Die Audionröhre wird durch eigene, im Gerät selbst untergebrachte Heizstrom- und Anodenspannungsquellen betrieben, während die Röhren des Niederfrequenzteiles durch ein 5-faches Kabel mit den außen befindlichen Batterien verbunden sind. In Abb. 5 rechts vorn sieht man die Gittervorspannungsbatterie GB_1, dahinter den Niederfrequenztransformator T_1, links davon die Loewe-3NF-Röhre, in deren Anodenkreis ein Anschluß für ein Kontrolltelefon und dazu in Serie der Eingang des in der Bildmitte vorn sichtbaren Niederfrequenztransformators T_2 geschaltet ist. Im Raume zwischen Subpaneel und Frontplatte befindet sich in der linken Hälfte die Heizbatterie der Audionröhre, in der rechten Hälfte das Gleichrichterrohr und das Relais R, welches hier mit von außen verstellbarem Magnetsystem ausgeführt ist. Auf der Frontplatte befindet sich über dem Milliamperemeter MA als Kontrollorgan ein mit dem zum Koinzidenzapparat führenden Ausgang in Serie liegendes Lämpchen, welches durch Aufblitzen das richtige Funktionieren der gesamten Apparatur anzeigt.

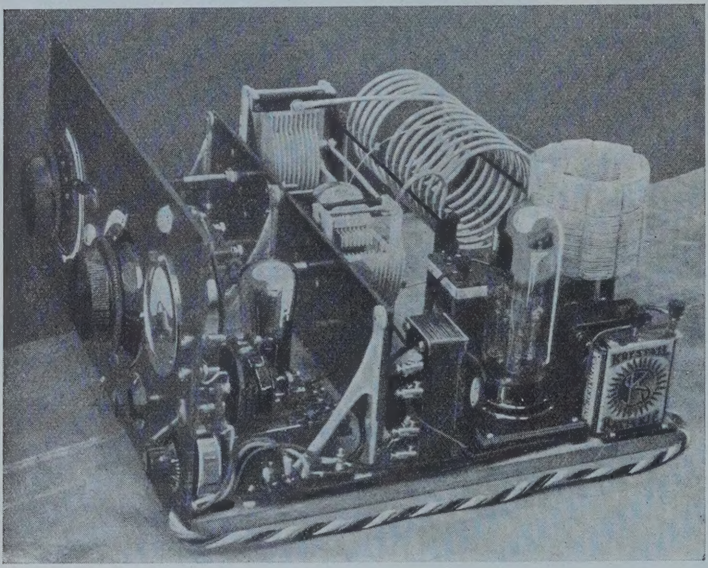


Abb. 6.

Zusammenfassung.

Eine stationär aufgestellte Uhr betätigt ein Relais, welches die Schwingung eines Kurzwellensenders auslöst; die ausgestrahlten Doppelsekunden-Punktsignale werden in den Pendelstationen mittels Kurzwellenaudion empfangen, nach ausreichender niederfrequenter Verstärkung gleichgerichtet und einem Relais zugeführt, dessen Sekundärstromkreis zur Bewegung der Schlitzblende des v. Sterneckschen Koinzidenzapparates verwendet wird.

Was die Betätigung der Blendvorrichtung des Koinzidenzapparates anbelangt, so zeigte sich bald, daß die bisher gebräuchliche Anordnung des die Blende tragenden Magnetankerhebels zu träge und schwerfällig war. Es wurde daher von mir eine verbesserte Vorrichtung ersonnen, welche der Hauptsache nach aus einer mit radialen Schlitzen versehenen Blendscheibe besteht, deren intermittierende, nach dem Vorbilde eines Steigrades ruckweise vorsichgehenden Bewegungen durch die vom Anodenstrome des Zusatzgerätes gesteuerten Impulse nur ausgelöst zu werden brauchen, wobei jedes-

mal eine Schlitzöffnung an dem festen Schlitz vorbeigeleitet und dem Lichtstrahl für den Bruchteil einer Sekunde den Austritt gestattet.

Die mustergültige konstruktive Durchführung dieser Idee verdanke ich Herrn Ing. Ed. Kleinecke in Wien, in dessen Werkstätte die Blendvorrichtung hergestellt wurde.

Durch die nunmehr getroffene Anordnung ist zunächst eine bisher unerreichte Kürze der Lichtblitze erzielt und damit eine wesentliche Verschärfung im Erfassen der Koinzidenz, letzteres ganz besonders in Verbindung mit der später näher beschriebenen, vom Verfasser vor mehr als einem Jahre angegebenen Skalenmethode; außerdem werden die bisher sehr störend bemerkbaren Abreißblitze, die dem Loslassen des Ankers nach Aufhören des Stromimpulses entsprechen, vollkommen vermieden.

Endlich macht diese Konstruktion die Länge des Lichtblitzes unabhängig von der Länge der die Fernsteuerung bewirkenden Signalpunkte, da immer der Anfang des Impulses die Weiterbewegung der Blendscheibe auslöst, ohne Rücksicht darauf, ob das Signal 0,1 Sekunde oder 0,4 Sekunden dauert. Die fernsteuernden Signale dürfen aber aus gewissen Erwägungen, die in der Konstruktion und Wirkungsweise des Senders begründet sind, nicht allzu kurz ausfallen, ohne an Stärke und Reichweite erheblich einzubüßen.

Die durch drahtlose Fernsteuerung im Koinzidenzapparate ausgelösten Lichtblitze müssen nun, um zur Pendelbeobachtung brauchbar zu werden, erst noch beziffert sein. Es wäre ein naheliegender Gedanke, ein mit dem Koinzidenzapparate gleichzeitig ferngesteuertes Zählwerk zu verwenden, doch würde ein solches auch auf unvermeidliche Störimpulse ansprechen (welche die Beobachtung deshalb durchaus noch nicht unmöglich zu machen brauchen) und sie mitregistrieren, wodurch die Zählung illusorisch würde. Hingegen entspricht in diesem Falle ein von der übrigen Apparatur völlig unabhängiges, elektrisches Zählwerk, wie z. B. die elektrische Uhr System „Ato“ ein solches darstellt. Gangprüfungen an der dem Bundesamte für Eich- und Vermessungswesen angegliederten Versuchsanstalt für Behelfe zur Zeitmessung haben ergeben, daß mehrere Exemplare dieser Uhr tägliche Gänge von 0,2 Sekunden einhalten. Im vorliegenden Falle wird aber vom Zählwerke, welches so angelassen wird, daß seine geraden Sekunden mit den drahtlos ausgelösten Doppelsekundenblitzen übereinstimmen, nur verlangt, daß es innerhalb einer Stunde noch die Sekunde hält, was ohne weiteres zu erreichen ist.

Wenn eingangs gesagt wurde, daß bei relativen Schweremessungen nach der Referenzmethode die Unsicherheit des Uhrganges durch die Differenzbildung zwischen den Schwingungszeiten des Pendels in der Innenstation und des zur selben Zeit mit den Sekundenpunkten derselben Uhr beobachteten Pendels in der Außenstation vollkommen eliminiert wird, so ist dies dahin zu verstehen, daß die in der Innenstation vorgenommenen Pendelbeobachtungen fortlaufend dazu dienen, um aus ihnen den wahrscheinlichsten Uhrgang, der eben zur Beobachtungszeit herrschte, herzuleiten.

Die aus der Aufnahme der drahtlosen Koinzidenzsignale ermittelten Uhrgänge geben nämlich immerhin nur Mittelwerte aus dem Gesamtgange innerhalb des Zeitraumes zwischen zwei solchen Uhrvergleichen. Beschränkt man sich auf die Auswertung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Koinzidenzsignalen derselben Provenienz, so hat man beim Nauener Signal schon Zeiträume von 12 Stunden, bei den französischen Koinzidenzzeichen (die zwar von verschiedenen Sendestationen, z. B. Lafayette (LY) und Eiffelturm (FL), aber doch durch dieselbe Uhr abgegeben werden, also von gleicher Provenienz angesehen werden können) Zwischenzeiten von

LY und FL 9^h > $1^1/_2$ Stunden
FL 10^h 30^m > $10^1/_2$ „
LY und FL 21^h
FL 23^h 30^m > $2^1/_2$ „
LY und FL 9^h > $9^1/_2$ „

Vergleicht man die Gangergebnisse zwischen LY 9^h und LY 21^h einerseits und LY 21^h und LY 9^h andererseits, so zeigt sich in vielen Fällen ein ausgesprochener „Nachtgang" und „Taggang", der aber, wenn man die Uhrgänge derselben Zeiträume aus den Nauener Koinzidenzsignalen herleitet, nicht kenntlich ist, da hier eben zwischen 1^h und 13^h, zwischen 13^h und 1^h je ein halber „Taggang" und ein halber „Nachtgang" vermischt ist.

Hätte man ein Mittel, die Uhr von Stunde zu Stunde mit einem fehlerlosen Zeitmeßgerät zu vergleichen, so würde man finden, daß ihr Gang kurzperiodischen Schwankungen unterworfen ist, welche sich freilich innerhalb des viele Stunden betragenden Intervalles zwischen zwei aufeinanderfolgenden Funk-Uhrvergleichen wieder kompensieren und einen vielleicht überraschend kleinen Gesamtgang vortäuschen, die Verwendung dieser Uhr für Zwecke der Sterneckschen Pendelmessungen aber bedenklich erscheinen lassen.

Im freischwingenden invariablen Schweremessungspendel haben wir nun so ein Mittel, ein fast fehlerloses Zeitmeßgerät, ein „time-standard", dessen Schwingungsdauer man nur fortlaufend mit den Pendelschlägen der zu prüfenden Uhr zu vergleichen braucht, um einen genaueren Einblick in die Änderungen ihres Ganges zu gewinnen. Es ist ja die Durchführung einer Beobachtungsreihe von Koinzidenzen des Sterneckschen Pendels nichts anderes, als ein fortgesetzter Vergleich zwischen den Schwingungen des freischwingenden Halbsekundenpendels und dem Sekundenpendel der Arbeitsuhr. Voraussetzung ist hier allerdings, wie überhaupt bei den Schweremessungen, ein möglichst scharfes Erfassen aller die Schwingungsdauer beeinflussenden Nebenerscheinungen, und zwar Amplitude, Druck, Temperatur und Mitschwingen der Aufhängevorrichtung. Errechnet man die vom Einflusse der (nicht unendlich kleinen) Amplitude, der Dichte des umgebenden Mediums, der Temperatur und des Mitschwingens befreite Schwingungsdauer, so bleibt für die entgültige Reduktion nur noch der Einfluß des Uhrganges übrig und es werden offenbar jene Uhrgänge in den einzelnen Arbeitsstunden die wahrscheinlichsten sein, welche die beste Übereinstimmung der endgültig reduzierten Schwingungsdauer bewirken.

Man sieht sofort, daß also alle Unsicherheiten in der Kenntnis der Temperatur- und Dichtekonstanten, sowie alle Beobachtungsfehler beim Erfassen der Koinzidenz sich im Uhrgange auswirken werden. Soll demnach diese Methode zu befriedigenden Ergebnissen führen, so wird man, je größer die Unsicherheit der erhobenen Konstanten ist, um so mehr bestrebt sein müssen, unter möglichst gleichbleibenden Außenumständen zu beobachten; außerdem ist es wünschenswert, in der Beobachtung der Koinzidenzen, welcher nach der bisher gehandhabten Methode immerhin noch eine Unsicherheit von $\pm$ 0,2 Zeitsekunden anhaftet, eine Verfeinerung zu erzielen.

Dem Verfasser ist es gelungen, schon vor mehr als einem Jahre eine Anordnung zu treffen, die sich seither bestens bewährt hat.

In der Brennebene des Objektives des Koinzidenzfernrohres befindet sich an Stelle des bisherigen Fadenkreuzes ein Glasdiaphragma, daß gemäß Abb. 7 außer dem Horizontal- und dem Vertikalstriche auch noch eine den letzteren ergänzende Teilung

trägt, die etwa das halbe Gesichtsfeld ausfüllt, und aus 20 äquidistanten Teilstrichen besteht, die zwar unbeziffert sind, aber so beziffert gedacht werden können, daß der im Gesichtsfelde unterste Teilstrich „Null“ sei, dem Mittelfaden die Lesung „50“ zukomme, so daß die Teilung oben mit 100 abschließt, wobei jeder Zehnerteilstrich durch größere Länge hervorgehoben ist.

Erscheinen nun dem Beobachter die Lichtblitze bei den einzelnen Doppelsekunden und bewegen sie sich z. B. von oben nach unten, so ist es nicht schwer, jene Skalenlesungen zu machen (und dem dabei nötigen Schreiber zuzurufen), welche den einzelnen sichtbar werdenden Blitzen entsprechen, z. B. 72, 48, 26. Der Schreiber zeichnet diese Lesungen neben die entsprechend vorbereiteten Uhrsekunden auf, und nun läßt sich mit dem Rechenschieber oder noch besser an der Hand eines Nomogrammes, Abb. 8 die dem Fadendurchgange des Lichtblitzes entsprechende Uhrzeit ermitteln.

Es seien z. B. die Skalenlesungen der von oben kommenden Lichtblitze bei den einzelnen Doppelsekunden:

Sek.	Skalenlesung
36	—
38	95
40	72
42	49
44	26,

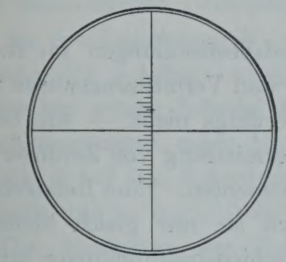


Abb. 7.

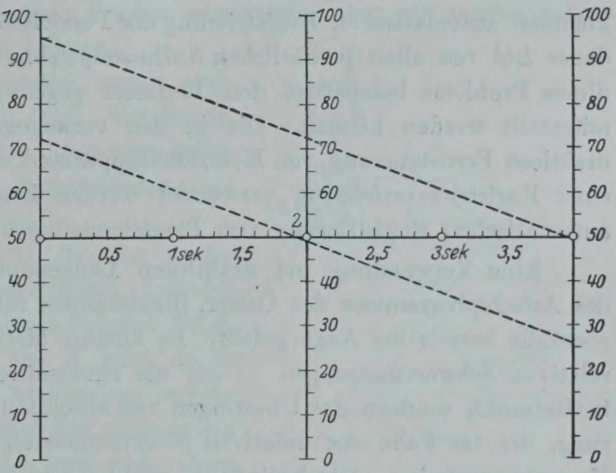


Abb. 8.

so ist klar, daß die Fadenpassage des Blitzes, also die Koinzidenz, zwischen den Doppelsekunden 40 und 42 erfolgte. Die Verbindungslinie 72 nach 49 der Skalenmaßstäbe am Nomogramm schneidet die Zeit-Horizontale bei 1,9 Sekunden; dies besagt, daß die Fadenpassage um 1,9 Sekunden nach der dem Blitze bei Skala 72 entsprechenden Zeit erfolgte, also zur Sekunde

$$40 + 1{,}9 = 41{,}9.$$

Eine Kontrolle ergibt sich in der Auswertung nach den

$$\left.\begin{array}{l}\text{Skalenlesungen 95 bei Sek. 38} \\ \text{und 49 „ „ 42}\end{array}\right> \triangle t = 4 \text{ Sek.}$$

Die Transversale am Nomogramm schneidet die Zeithorizontale bei 3,9 Sek.; demnach erfolgte die Koinzidenz um 3,9 Sekunden später als die Skalenlesung 95, also um $38 + 3{,}9 = 41{,}9$ Sekunden.

Wir sehen sofort die Vorteile dieser Ablesungsverfeinerung:

1. Die Koinzidenzen, welche nach der bisher üblichen Methode ohne Möglichkeit einer Kontrolle mit einer Unsicherheit von $\pm$ 0,2 Zeitsekunden erfaßt werden konnten, ergeben sich nunmehr, und zwar 3—4 fach kontrolliert, mit einer Übereinstimmung von wenigen Hundertsteln der Zeitsekunde.

2. Das Entfallen eines „Blitzes“ oder der Beobachtung desselben, das aus irgendwelchen Gründen ja eintreten kann und nach der bisher angewendeten Methode diese Koinzidenz vielleicht überhaupt hätte müssen ausscheiden lassen, ermöglicht nach der Skalenlesung noch immer die Auswertung dieser Konizidenz, und sogar noch kontrolliert, aus den übrigen Blitzen derselben Passage.

Allerdings sei auch nicht verschwiegen, daß die Methode der Koinzidenzbeobachtung durch Skalenlesungen an die Konzentration des Beobachters erheblich größere Anforderungen stellt und unbedingt einen gewandten Schreiber (Manualführer) erfordert. Doch werden diese Nachteile reichlichst aufgewogen durch die erhöhte Genauigkeit im Erfassen der Koinzidenz (fast das Zehnfache der bisher erreichten), durch die mehrfache Kontrolle jeder Koinzidenz und endlich durch die völlige Ausschaltung irgendeiner — ungewollten oder halbbewußten — Beeinflussung der Resultate durch den Beobachter.

Die letzte noch anzustrebende Verbesserung des Beobachtungsverfahrens bei relativen Schweremessungen nach der v. Sterneckschen Methode besteht in der vollkommen automatischen Registrierung der Pendelschwingungen, welche die Schwingungsdauer frei von allen persönlichen Auffassungsfehlern des Beobachters gibt. Die Lösung dieses Problems beschäftigt den Verfasser gegenwärtig und wird in absehbarer Zeit mitgeteilt werden können. Die in den vorangegangenen Ausführungen beschriebene drahtlose Fernsteuerung von Koinzidenzapparaten, die ja ebenso zur Betätigung irgendeiner Registriervorrichtung verwendet werden kann, stellt bereits eine Vorstufe zur automatischen Registrierung von Pendelmessungen dar.

Eine Verwendung bei drahtlosen Längenunterschiedsbestimmungen im Rahmen des Arbeitsprogrammes des Österr. Bundesamtes für Eich- und Vermessungswesen wurde ebenfalls bereits ins Auge gefaßt. Es kommt hierbei allerdings nicht — wie bei den relativen Schweremessungen — nur die einwandfreie Übermittlung von Zeitintervallen in Betracht, sondern das Übertragen von absoluten Zeitmomenten. Eine Relaisverzögerung, die im Falle der relativen Schweremessung, sofern sie nur gleich bleibt, die Messungsergebnisse nicht beeinflußt, wird bei Längenunterschiedsbestimmungen mit aller Schärfe festgestellt werden müssen, da sie, ebenso wie die — im Vergleich dazu allerdings verschwindend geringe — Laufzeit der drahtlos übermittelten Signale mit ihrem vollen Betrage in das Messungsergebnis eingeht.

Auch bei erdmagnetischen Messungen können die zur Fernsteuerung von Schweremessungsapparaten ausgesendeten Kurzwellen-Sekundenzeichen verwendet werden, wenn es sich, wie bei Bestimmung der Horizontalintensität, um Koinzidenzbeobachtungen zwischen den Schwingungen der Magnetnadel und den Sekundenschlägen einer Vergleichsuhr handelt.

Der Vorteil, daß eine beliebig große Anzahl von Außenstationen mit den Sekundenintervallen einer und derselben gemeinsamen Uhr arbeitet, deren Gang durch ein völlig freischwingendes invariables Pendel ständig kontrolliert wird, stellt den idealen Fall von wirklichen Referenzmessungen dar, an welche bisher nicht gedacht werden konnte.

Es kann binnen kurzem möglich sein, sämtliche relativen Schweremessungen in ganz Europa mit einer und derselben Uhr durchzuführen.

Untersuchung über die Genauigkeit des harmonischen Analysators von Dr. O. Mader.

Von

Dr. **Franz Ackerl**, Privatdozent an der Hochschule für Bodenkultur, Wien.

Bei zahlreichen physikalischen und technischen Problemen liegt die Aufgabe vor, eine periodische Funktion in ihre Einzelschwingungen aufzulösen.

Die rechnerische Behandlung dieser Frage ist stets sehr mühevoll und zeitraubend, wenn größte Rechenschärfe gefordert wird, wie dies z. B. bei der Auswertung von Kreisteilungsprüfungen der Fall ist.

Die graphischen Methoden der harmonischen Analyse bleiben nach gegenwärtig geltenden Ansichten auf Arbeiten geringerer Genauigkeit beschränkt.

In dieser Arbeit soll gezeigt werden, daß mit Hilfe des harmonischen Analysators von Dr. O. Mader, bei Beachtung gewisser Vorsichtsmaßregeln, auch auf mechanischem Wege gute Resultate erzielt werden können.

Die Wirkungsweise des Apparates wurde erstmalig von Dr. O. Mader dargestellt (1)[1]. Mit Bezugnahme auf die dortigen Ausführungen folgt hier lediglich eine kurze Beschreibung des Instrumentes und seiner theoretischen Grundlagen.

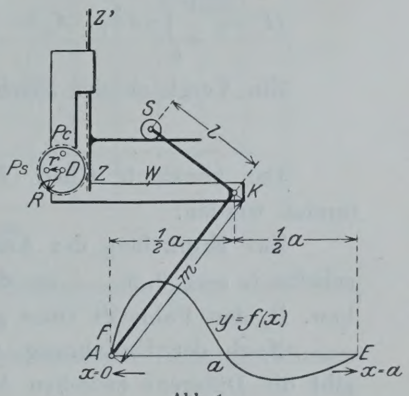


Abb. 1.

An den Laufwagen W (s. Abb. 1), der nur in der Richtung der y-Achse bewegt werden kann, befindet sich ein um seinen Scheitel K drehbarer Winkel SKF. Die x-Komponente einer Drehung um K wird durch die Rolle S auf eine Zahnstange ZZ' übertragen, welche gleichfalls nur in der y-Achse verschiebbar angeordnet ist. Die Bewegung der Zahnstange teilt sich einer Scheibe D mit, welche bei P_s und P_c Einsatzstellen für den Fahrstift eines Planimeters trägt.

Die zu untersuchende Kurve kann mittels eines geteilten Lineals so orientiert werden, daß die Ordinatenachse mit der Bewegungsrichtung des Wagens W zusammenfällt. Außerdem ist eine Verstellung des Fahrstiftes F am Arme FK vorgesehen, derart, daß in den beiden Stellungen $x = 0$, $y = 0$; $x = a$, $y = 0$ der Fahrstift über Beginn und Ende der Kurvenperiode durch Anschläge gesichert wird.

Folgt man nun der Kurve $y = f(x)$ mit dem Fahrstift von A nach E und kehrt auf der Abszissenachse nach A zurück, so wurden auch von P_s und P_c geschlossene Kurven beschrieben.

Die von diesen Kurven eingeschlossenen Flächen F_s und F_c ergeben sich bei Übergehung von Einzelheiten mit:

$$F_s = \frac{rl}{Rm}\int_0^a y \sin\frac{xl}{Rm}\,dx \quad \text{und} \quad F_c = \frac{rl}{Rm}\int_0^a y \cos\frac{xl}{Rm}\,dx.$$

Wie teilweise aus der Abb. 1 erhellt, bedeuten:

$r = \overline{DP_s} = \overline{DP_c}$, $l = \overline{SK}$, $m = \overline{KF}$, $R =$ Radius der Zahnscheibe.

[1]) S. die Literaturangaben am Schluß.

Die Dimensionen von R und r werden gewählt mit

$$R = a\frac{l}{m}\cdot\frac{1}{2\pi}\cdot\frac{1}{n} \quad \text{und} \quad r = \frac{1}{n\pi}k, \qquad (n = 1, 2, 3, \ldots)$$

so daß man für F_s und F_c schließlich die folgenden Ausdrücke erhält:

$$F_s = k\cdot\frac{2}{a}\int_0^a y\sin\left(n\frac{2\pi x}{a}\right)dx, \quad F_c = k\cdot\frac{2}{a}\int_0^a y\cos\left(n\frac{2\pi x}{a}\right)dx.$$

In der Fourierschen Reihe

$$\left.\begin{aligned} f(x) = (F) &+ A_1\cos\left(\frac{2\pi x}{a}\right) + A_2\cos\left(2\cdot\frac{2\pi x}{a}\right) + \cdots + A_n\cos\left(n\cdot\frac{2\pi x}{a}\right) \\ &+ B_1\sin\left(\frac{2\pi x}{a}\right) + B_2\sin\left(2\cdot\frac{2\pi x}{a}\right) + \cdots + B_n\sin\left(n\cdot\frac{2\pi x}{a}\right) \end{aligned}\right\} \quad \text{I)}$$

sind die Koeffizienten A_n, B_n bzw. das konstante Glied (F) bekanntlich gegeben durch:

$$(F) = \frac{1}{a}\int_0^a y\,dx, \quad A_n = \frac{2}{a}\int_0^a y\cos\left(n\frac{2\pi x}{a}\right)dx, \quad B_n = \frac{2}{a}\int_0^a y\sin\left(n\frac{2\pi x}{a}\right)dx.$$

Ein Vergleich der Flächen F_c und F_s mit den Werten A_n bzw. B_n zeigt, daß:

$$F_s = k\cdot B_n, \quad F_c = k\cdot A_n.$$

Das konstante Glied (F) kann durch einfaches Planimetrieren der Kurve gefunden werden.

Zur Ermittlung der Amplituden der Reihe bringt man die entsprechende Zahnscheibe $(n = 1, 2, 3, \ldots)$ an dem Wagen des Analysators an und setzt jeweils in P_s bzw. P_c den Fahrstift eines geprüften Planimeters ein.

Nach der Umfahrung, welche, wie weiter vorne angegeben, durchzuführen ist, gibt die Differenz zwischen Anfangs- und Endablesung des Planimeters den k-fachen Betrag der Koeffizienten A_n oder B_n, je nachdem der Planimeterstift in P_c oder in P_s eingesetzt war.

Für die vorliegende Ausführung des Analysators von Mader wurde das Übersetzungsmaß mit $k = 10$ gewählt. In diesem Falle entspricht 1 cm² der planimetrierten Fläche einer Kurvenamplitude von 0,1 cm.

Bei den Messungen verwendete ich den Analysator von Dr. Mader (SII, Nr. 80, Gebrüder Stärzl, München), der sich im Eigentume der Zentralanstalt für Meteorologie in Wien befindet und den mir Herr Professor Dr. W. Schmidt, Vorstand der Lehrkanzel für Meteorologie, in gütigster Weise zur Verfügung stellte.

Gelegentlich von Vorversuchen zeigten die Ergebnisse eine unverkennbare Abhängigkeit von der Richtung, in der das Diagramm umfahren wurde. Dieser Einfluß der Bewegungsrichtung dürfte auf eine ungleichmäßige Zugwirkung der Spannfeder zurückzuführen sein und wurde dadurch ausgeschaltet, daß nach gewöhnlicher Umfahrung (Kurve A bis E, Basis zurück) das Diagramm entgegengesetzt umfahren und die Differenzen der Planimeterablesungen gemittelt wurden.

Die Konstante des verwendeten Coradischen Polarplanimeters ergab sich mit 9,5465 mm² für eine Noniuseinheit, nachdem der Fahrarm absichtlich ungenau eingestellt worden war.

Zum Zwecke der Untersuchung, ob die Genauigkeit des Apparates für die Auswertung feinster Arbeiten als hinreichend anzusehen sei, wurden für mehrere, auf rechnerischem Wege nach der Methode von Prof. Heuvelink (2) streng ausgeglichene

Teilungsprüfungen die Kurven des Verlaufes der Teilungsfehler sehr genau auf Millimeterpapier aufgetragen. In der gleichen Zeichnung gelangten außerdem die nach der Wildschen Methode (3) berechneten Durchmesserteilungsfehler zur Darstellung. Die folgende Abb. 2 verdeutlicht die Kurvenanordnung mit dem zugehörigen Polygon der Durchmesserfehler, welches ebenfalls in die Prüfung einbezogen wurde. Das gleichmäßige Arbeiten des Apparates bei verschiedenen, praktisch üblichen Abszissen- und Ordinatenmaßstäben wurde an sechs Zeichnungen ein und derselben Kurve untersucht. Die Basislänge war hierbei mit 27 cm, 18 cm und 9 cm angenommen. Dem Ordinaten-

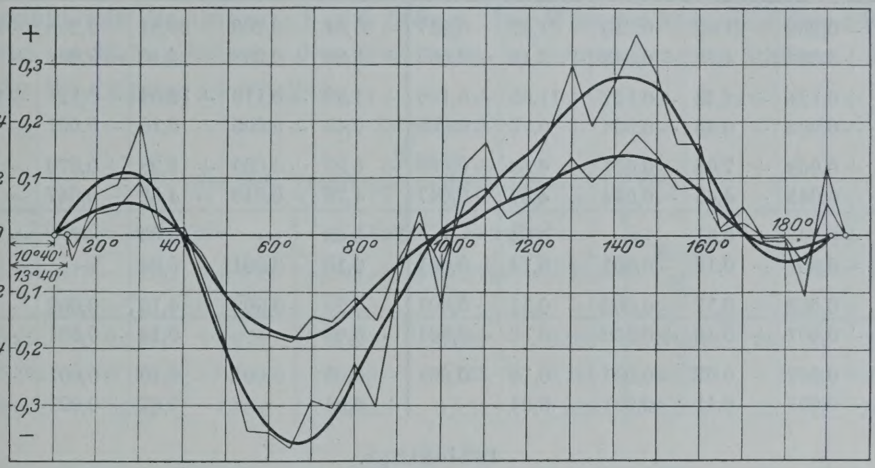


Abb. 2. Teilungsprüfung an Wild Nr. 380.

wert von 0,1″ entsprach bei einer Kurve des gleichen Blattes eine Länge von 1 cm, bei der anderen von 2 cm.

Als Grundlagen für die Untersuchung dienten die Ergebnisse der Teilungsprüfungen an folgenden Instrumenten:

Universaltheodolit von Wild Nr. 380 (4)
" " " Nr. 278 (3)
Universal von Hildebrand Nr. 10944 (5)

Die folgende Tabelle bringt die Messungsergebnisse mit dem Analysator für die Teilungsprüfung des Wildschen Instrumentes Nr. 380 vollständig; für die beiden anderen Untersuchungen werden aus Raumrücksichten nur die Endresultate angegeben.

Um das Zahlenmaterial möglichst gekürzt vorzulegen, werden die Flächen F_s und F_c bereits wegen der Planimeterkonstanten verbessert ausgewiesen. Die Ergebnisse für die Kurven und die Linienzüge der Durchmesserteilungsfehler im Ordinatenmaß $0{,}1'' \equiv 2$ cm (doppelte Amplitude) wurden zum schnelleren Vergleich auf das Verhältnis $0{,}1'' \equiv 1$ cm reduziert.

Die unter A_i, B_i $(i = 1, 2, \ldots 6)$ verzeichneten Koeffizienten in Bogensekunden ergeben sich auf Grund der Konstanten $k = 10$ des Analysators, wonach in unserem Falle $1 \text{ cm}^2 \equiv 0{,}01''$.

Um den Vergleich der Messungs- und Rechnungsergebnisse möglichst einfach zu gestalten, wurde die unter I) angedeutete Entwicklung auf die Form

$$F(x) = (F) + r_1 \sin(2\varphi + \alpha_1) + r_2 \sin(4\varphi + \alpha_2) + \cdots + r_n \sin(2n\varphi + \alpha_n)$$

gebracht, in der die Resultate von Teilungsuntersuchungen nach der Methode von Prof. Heuvelink zumeist vorliegen.

Tabelle 1.

Kurven.

i	Einfache Amplitude						Doppelte Amplitude					
	$a = 27$ cm		$a = 18$ cm		$a = 9$ cm		$a = 27$ cm		$a = 18$ cm		$a = 9$ cm	
	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″
1	– 20,84	– 0,208	– 21,02	– 0,210	– 21,67	– 0,217	– 20,64	– 0,206	– 20,81	– 0,208	– 21,40	– 0,2
	+ 4,22	+ 0,042	+ 4,25	+ 0,043	+ 3,46	+ 0,035	+ 3,81	+ 0,038	+ 4,40	+ 0,044	+ 4,06	+ 0,0
2	+ 12,08	+ 0,121	+ 12,23	+ 0,122	+ 11,95	+ 0,120	+ 11,92	+ 0,119	+ 12,09	+ 0,121	+ 12,06	+ 0,1
	+ 0,30	+ 0,003	+ 0,43	+ 0,004	+ 0,75	+ 0,008	+ 0,49	+ 0,005	+ 0,10	+ 0,001	+ 0,30	+ 0,0
3	+ 6,87	+ 0,069	+ 7,05	+ 0,071	+ 6,89	+ 0,069	+ 6,93	+ 0,069	+ 6,98	+ 0,070	+ 7,28	+ 0,0
	– 4,51	– 0,045	– 4,40	– 0,044	– 4,67	– 0,047	– 4,79	– 0,048	– 4,68	– 0,047	– 4,59	– 0,0
4	+ 0,07	+ 0,001	+ 0,01	—	– 0,04	—	+ 0,03	—	– 0,03	—	+ 0,06	+ 0,0
	– 0,08	– 0,001	– 0,12	– 0,001	– 0,14	– 0,001	– 0,10	– 0,001	– 0,04	—	– 0,10	– 0,0
5	– 0,29	– 0,003	– 0,17	– 0,002	– 0,11	– 0,001	– 0,20	– 0,002	– 0,15	– 0,002	– 0,03	—
	+ 0,05	+ 0,001	+ 0,16	+ 0,002	+ 0,13	+ 0,001	– 0,02	—	+ 0,14	+ 0,001	+ 0,10	+ 0,0
6	– 0,07	– 0,001	– 0,07	– 0,001	– 0,10	– 0,001	– 0,05	– 0,001	– 0,10	– 0,001	+ 0,00	—
	– 0,13	– 0,001	– 0,11	– 0,001	– 0,04	—	+ 0,04	—	– 0,07	– 0,001	– 0,04	—

Linienzüge.

i	Einfache Amplitude						Doppelte Amplitude					
	$a = 27$ cm		$a = 18$ cm		$a = 9$ cm		$a = 27$ cm		$a = 18$ cm		$a = 9$ cm	
	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″	F_s / F_c cm²	B_i / A_i ″
1	– 21,37	– 0,214	– 21,56	– 0,216	– 21,43	– 0,214	– 21,27	– 0,213	– 21,46	– 0,215	– 21,20	– 0,2
	+ 1,34	+ 0,013	+ 1,80	+ 0,018	+ 1,50	+ 0,015	+ 1,32	+ 0,013	+ 1,61	+ 0,016	+ 1,26	+ 0,0
2	+ 11,89	+ 0,119	+ 12,29	+ 0,123	+ 11,95	+ 0,120	+ 11,67	+ 0,117	+ 11,98	+ 0,120	+ 11,86	+ 0,1
	+ 3,06	+ 0,030	+ 2,79	+ 0,028	+ 2,74	+ 0,027	+ 3,21	+ 0,032	+ 2,92	+ 0,029	+ 2,96	+ 0,0
3	+ 7,56	+ 0,076	+ 7,48	+ 0,075	+ 7,15	+ 0,072	+ 7,67	+ 0,077	+ 7,20	+ 0,072	+ 7,35	+ 0,0
	– 1,68	– 0,017	– 1,41	– 0,014	– 1,63	– 0,016	– 1,57	– 0,016	– 1,88	– 0,019	– 1,74	– 0,0
4	+ 0,03	—	+ 0,07	+ 0,001	– 0,24	– 0,002	+ 0,19	+ 0,002	– 0,06	– 0,001	+ 0,06	+ 0,0
	– 0,09	– 0,001	– 0,24	– 0,002	– 0,07	– 0,001	– 0,06	– 0,001	– 0,08	– 0,001	– 0,12	– 0,0
5	– 0,67	– 0,007	– 0,95	– 0,010	– 0,70	– 0,007	– 0,92	– 0,009	– 0,67	– 0,007	– 0,51	– 0,0
	– 1,60	– 0,016	– 1,72	– 0,017	– 1,84	– 0,018	– 1,79	– 0,018	– 2,02	– 0,020	– 1,63	– 0,0
6	– 0,57	– 0,006	– 0,24	– 0,002	– 0,40	– 0,004	– 0,30	– 0,003	– 0,58	– 0,006	– 0,40	– 0,0
	+ 0,20	+ 0,002	– 0,16	– 0,002	+ 0,30	+ 0,003	+ 0,37	+ 0,004	– 0,06	– 0,001	+ 0,01	—

Man erhält allgemein

$$r_n \sin(2n\varphi + \alpha_n) = r_n \cos\alpha_n \sin 2n\varphi + r_n \sin\alpha_n \cos 2n\varphi$$

und mit Bezug auf die beiden entsprechenden Glieder der Reihe I) ergibt sich

$$A_n = r_n \sin\alpha_n, \quad B_n = r_n \cos\alpha_n;$$

ferner

$$r_n^2 = A_n^2 + B_n^2 \quad \text{und} \quad \operatorname{tg}\alpha_n = \frac{A_n}{B_n}.$$

Die folgende Zusammenstellung bringt in gleicher Anordnung wie bei Tabelle 1 die auf dem eben angegebenen Wege berechneten Amplituden r_i und deren Gesamtmittel. Die Glieder mit r_4, r_5, r_6 wurden nicht mehr berücksichtigt, da aus ihrer geringen Größe die Abhängigkeit von Umfahrungsfehlern deutlich hervorgeht.

Zur Bestimmung von α_i wurden die aus der Tabelle 1 sich ergebenden Mittel aller sechs Werte A_i bzw. B_i verwendet.

Bei der Auswertung der Kurven mit dem harmonischen Analysator waren diese stets so orientiert, daß der Fahrstift in der Ausgangsstellung sich über dem ersten Kurvenpunkt mit der Ordinate $y = 0$ befand. Der Wert der Abszisse φ dieses Punktes ist sodann im Endergebnis zu den berechneten α_i entsprechend zu addieren, um die Phase der Schwingung zu erhalten.

Tabelle 2.

Kurve.

(Aus dem Diagramm ermittelt: $\varphi' = -10° 40'$).

i	Einfache Amplitude $a = 27$ cm ″	Einfache Amplitude $a = 18$ cm ″	Einfache Amplitude $a = 9$ cm ″	Doppelte Amplitude $a = 27$ cm ″	Doppelte Amplitude $a = 18$ cm ″	Doppelte Amplitude $a = 9$ cm ″	Mittel r_i''	α_i °	α_i ′	$2i\varphi' + \alpha_i$ °	$2i\varphi' + \alpha_i$ ′
1	0,212	0,214	0,219	0,208	0,212	0,218	0,214	169	00	147	40
2	0,121	0,122	0,120	0,119	0,121	0,121	0,121	1	54	319	14
3	0,082	0,084	0,084	0,084	0,084	0,086	0,084	326	41	262	41
					Linienzug. (Aus dem Diagramm ermittelt: $\varphi' = -13° 40'$).						
1	0,215	0,217	0,215	0,213	0,216	0,212	0,215	176	05	148	45
2	0,123	0,127	0,123	0,121	0,124	0,123	0,124	13	45	319	05
3	0,078	0,077	0,074	0,079	0,075	0,076	0,077	347	29	265	29

Aus den geringen Abweichungen der Amplituden r_i von ihrem mittleren Wert ergibt sich, daß die mit dem harmonischen Analysator erzielten Resultate unabhängig sind vom Maßstabe der Zeichnung, sofern nicht eine allzu große Ordinatenüberhöhung Anlaß zu Umfahrungsfehlern gibt.

Berechnet man aus der obenstehenden Tabelle den mittleren Fehler eines Koeffizienten r_i bei einer beliebigen Basislänge a, so erhält man:

für die Kurven . . $\pm 0{,}0041''$, $\pm 0{,}0010''$, $\pm 0{,}0013''$;
für die Linienzüge . $\pm 0{,}0019''$, $\pm 0{,}0020''$, $\pm 0{,}0018''$;

oder im Mittel aus allen Werten: $\pm 0{,}002''$.

Ermittelt man in gleicher Weise den m. F. eines A_i oder B_i $(i = 1, 2, 3)$ aus Tabelle 1, so findet man

für die Kurven . . A_i $\pm 0{,}0042''$, $\pm 0{,}0011''$, $\pm 0{,}0013''$ / B_i $\pm 0{,}0034''$, $\pm 0{,}0024''$, $\pm 0{,}0015''$ $(\pm 0{,}0024'')$,

für die Linienzüge . A_i $\pm 0{,}0014''$, $\pm 0{,}0020''$, $\pm 0{,}0021''$ / B_i $\pm 0{,}0021''$, $\pm 0{,}0017''$, $\pm 0{,}0017''$ $(\pm 0{,}0019'')$.

Die eingeklammerten Werte stellen die Durchschnittsbeträge der m. F. dar.

Der Fehler einer Bestimmung von A_i bzw. B_i kann daher mit etwa $\pm 0{,}002''$ angenommen werden.

Nach den vor der Tabelle 1 gegebenen Erläuterungen über die Konstante $k = 10$ des Analysators, entspricht dem Fehler von $\pm 0{,}002''$ ein Flächenfehler der F_s bzw. F_c von $\pm 0{,}2$ cm².

Um ein abschließendes Urteil über die Güte der mechanischen Analyse mit dem Maderschen Apparat zu ermöglichen, sollen nun noch die Messungs- und Rechnungsergebnisse einander gegenüber gestellt werden.

Es wäre noch zu bemerken, daß die Konstanten der unter „Rechnung“ angegebenen Reihen durch die Ausgleichung mit Fehlern behaftet sind, welche bei den Amplituden die zweite Dezimalstelle unsicher erscheinen lassen, während die Phasen im allgemeinen eine vom ersten bis zum letzten Glied steigende Unsicherheit von wenigen Graden bis mehreren Zehnergraden aufweisen.

Wild Nr. 380 (4).

Rechnung: $0{,}216'' \sin(2\varphi + 147^\circ 52') + 0{,}123'' \sin(4\varphi + 319^\circ 31') + 0{,}082'' \sin(6\varphi + 262^\circ 42')$;

Messung:

a) Kurve $0{,}214'' \sin(2\varphi + 147^\circ 40') + 0{,}121'' \sin(4\varphi + 319^\circ 14') + 0{,}082'' \sin(6\varphi + 262^\circ 41')$,

b) Polygon $0{,}215'' \sin(2\varphi + 148^\circ 45') + 0{,}124'' \sin(4\varphi + 319^\circ 05') + 0{,}077'' \sin(6\varphi + 265^\circ 29')$.

Wild Nr. 278 (3).

Rechnung: $0{,}247'' \sin(2\varphi + 309^\circ 16') + 0{,}114'' \sin(4\varphi + 206^\circ 57') + 0{,}196'' \sin(6\varphi + 229^\circ 39')$;

Messung:

a) Kurve $0.242'' \sin(2\varphi + 311^\circ 25') + 0{,}110'' \sin(4\varphi + 201^\circ 56') + 0{,}193'' \sin(6\varphi + 224^\circ 54')$,

b) Polygon $0{,}244'' \sin(2\varphi + 307^\circ 16') + 0{,}117'' \sin(4\varphi + 202^\circ 26') + 0{,}185'' \sin(6\varphi + 236^\circ 12')$.

Hildebrand Nr. 10944 (5).

Rechnung: $0{,}138'' \sin(2\varphi + 127^\circ 31') + 0{,}125'' \sin(4\varphi + 78^\circ 16') + 0{,}066'' \sin(6\varphi + 329^\circ 49')$;

Messung:

Kurve $0{,}137'' \sin(2\varphi + 127^\circ 59') + 0{,}126'' \sin(4\varphi + 79^\circ 59') + 0{,}062'' \sin(6\varphi + 343^\circ 30')$.

Die Übereinstimmung zwischen den der Zeichnung zugrunde gelegten Fourierschen Reihen und jenen, welche mit dem harmonischen Analysator ermittelt wurden, muß in bezug auf die Amplituden als eine überraschend gute, im Hinblick auf die Güte der Phasenbestimmung als eine befriedigende bezeichnet werden.

In allen jenen Fällen, wo bei einer großen Zahl von Teilungsuntersuchungen in möglichst kurzer Zeit die periodischen Durchmesserfehler in eine Reihe entwickelt werden sollen, kann man daher mit Vorteil zuerst die Durchmesserteilungsfehler nach der Methode von Wild aus den vorliegenden Messungen berechnen, sodann zeichnerisch darstellen und das derart entstandene Polygon mit dem harmonischen Analysator auswerten.

Mit Beachtung der in der Arbeit angedeuteten Doppelumfahrung des Diagrammes wird die mechanische Analyse Ergebnisse liefern, welche mit den Resultaten einer strengen Rechnung bis auf geringe, praktisch belanglose Differenzen übereinstimmen werden.

Angezogene Schriften:

1. Dr. O. Mader, Ein einfacher harmonischer Analysator mit beliebiger Basis. *Elektrotechn. Zeitschr.* ***30.*** *S. 847. 1909.* Referat in *dieser Zeitschr.* ***30.*** *S. 17. 1909.*
2. Prof. Hk. J. Heuvelink, Die Prüfung der Kreisteilungen von Theodoliten und Universalinstrumenten. *Diese Zeitschr.* ***45.*** *S. 70—84. 1925.*
3. Ing. Heinrich Wild, Der neue Theodolit. *Schweiz. Zeitschr. f. Vermessungsw. u. Kulturtechn. 1925.*
4. Dr. F. Ackerl, Prüfung der Teilung eines Wildschen Universaltheodolits. *Österr. Zeitschr. f. Vermessungsw. 1926. S. 85.* Referat in *dieser Zeitschr.* ***48.*** *S. 94. 1928.*
5. Prof. Hk. J. Heuvelink, Bestimmung der Durchmesserteilungsfehler bei Kreisen von Theodoliten und Universalinstrumenten. *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1913, Heft 17.*

Das Vektor-Präzisionsscheibenplanimeter mit selbsttätiger Kompensation.

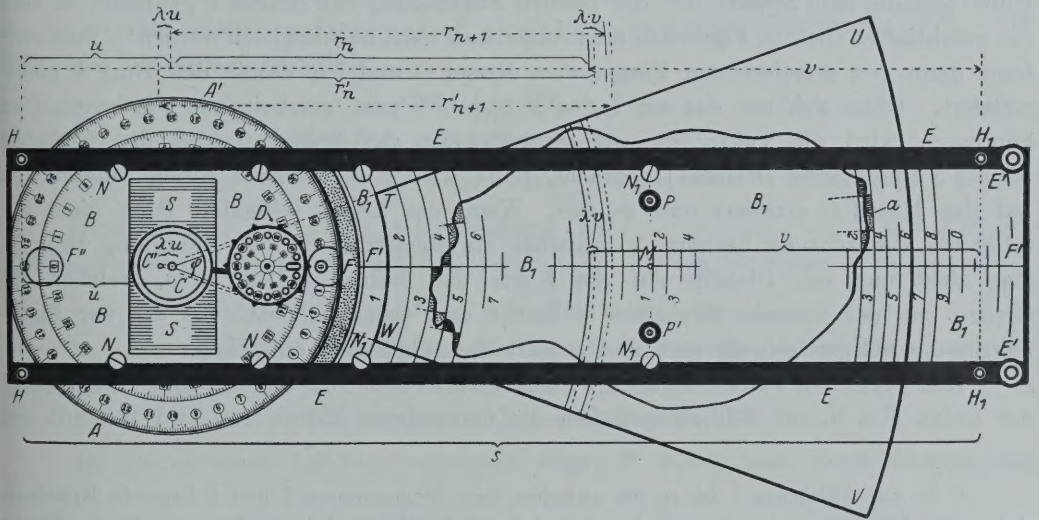
Ein Nachweis dafür, daß Zelluloid sich trotz seiner Veränderlichkeit für feinmechanische Zwecke eignen kann.

Von

Vereidetem Landmesser **J. Schnöckel**, s. Z. Assistent für Geodäsie an der Landwirtschaftlichen Hochschule in Berlin.

In *dieser Zeitschr.* **46.** *S. 67—70. 1926* hat der Verfasser das „Vektor-Präzisionsscheibenplanimeter" beschrieben, welches nunmehr weiter vervollkommnet worden ist, so daß dessen Gebrauch neu erörtert und theoretisch begründet werden muß[1]). Es eignet sich besonders zur möglichst präzisen Berechnung kleiner, unregelmäßig geformter Flächenstücke bis etwa Handgröße, die bekanntlich, je kleiner sie sind, um so schwieriger hinreichend genau erhalten werden. Hier überragt das neue Instrument die gebräuchlichen Planimeter und kann daher eine heute zweifellos noch vorhandene Lücke ausfüllen[2]).

In erster Linie möge die jetzt erreichte selbsttätige Kompensation hervorgehoben werden, denn bei der älteren Konstruktion mußte vor jedem Gebrauch die Stellung des Polstiftes *C* (vgl. d. Abb.) hinsichtlich der stets mehr oder weniger ein-



gegangenen, transparenten Zelluloidplatte *B* geprüft und justiert werden (vgl. *diese Zeitschr.* **46.** *S. 69 u. und S. 70 o. 1926*). Da Glas in diesem Sinne unveränderlich ist, aber den großen Nachteil der Zerbrechlichkeit hat, so ist das Zelluloid beibehalten worden, und gestützt auf die im nächsten Abschnitt entwickelte Theorie ist es gelungen, dieses Material in 2 getrennten Teilen *B* und B_1 an den Metallschienen *EE* lediglich in *H* und H_1 so zu befestigen, daß die aus dem Eintrocknen oder Dehnen der Masse infolge wechselnder Temperatur und Feuchtigkeit hervorgehenden fehlerhaften Einflüsse auf

[1]) Interessenten erhalten auf Wunsch Prosp. v. Verf., Mathem.-mechan. Institut, Berlin O, Weidenweg Nr. 23.

[2]) Eine Vereinfachung des bereits seit 1848 in Frankreich bekannten „*Planimètre Benvière*" (vgl. *Nouv. Larousse, tome 6*), das erst 1895, als „Mönkemöllersches Planimeter" in Deutschland in Gebrauch kam. (Vgl. *Zeitschr. f. Verm. 1895. S. 331 ff.; diese Zeitschr.* **15.** *S. 456. 1895.*)

die Planimetrierung sich dauernd selbsttätig eliminieren. Der Gebrauch ist folgender: Nachdem das Zählrad D und die Teilscheibe AA' mit Null auf den Index F (resp. F'') der Zelluloidplatte B eingestellt ist, setzt man das Planimeter, am Polknopf C und einer Fußschraube E' zufassend, derart auf die Karte, daß das zu berechnende Flächenstück unter der gravierten, transparenten Zelluloidplatte B_1 hervortritt. Soll die selbsttätige Justierung sich voll auswirken und ein hervorragend genaues Resultat erzielt werden, so muß die Aufstellung so erfolgen, daß die Verbindungslinie der Punkte P und P', welche der Deutlichkeit wegen noch durch zwei auch in der Abbildung sichtbare schwarze Kreise hervorgehoben sind, das Flächenstück in zwei schätzungsweise gleiche Teile zerlegt und die der Scheibe zugekehrte Umgrenzung eine der gravierten Kreislinien berührt[1]). Nun bringt man die gravierte Vektorlinie $F'F'$ mit Hilfe einer Fußschraube E' durch eine Drehung um die ein wenig ins Kartenpapier eindringende Polspitze C derart zum Schnitt mit der linken (von der Scheibe aus betrachtet) Grenze des breitesten auf das Flächenstück fallenden Ringes (Ring 4), daß die beiden schätzungsweise flächengleichen, kleinen Dreiecke, welche in der Abbildung (des Verständnisses wegen) schraffiert sind, entstehen. Durch einen Druck auf den Polknopf C mit dem Zeigefinger gibt die Metallfeder S jetzt etwas nach, während die auf der Unterseite rauhe Scheibe AA' fest auf das Kartenpapier gepreßt (arretiert) wird[2]). Bei so arretierter Scheibe wird nun die Vektorlinie $F'F'$ rechtsläufig drehend zum Schnitt mit der rechten Abgrenzung des Ringes 4 gebracht, so daß die (punktierten) beiden Figürchen dem Augenmaß nach flächengleich werden[3]); man entfernt dann den arretierenden Finger vom Knopf C und hat damit den Ring 4 planimetriert. Ohne sich um das am Index F resp. F'' jetzt erscheinende Flächenmaß zu kümmern, wird die Vektorlinie zur Ausgleichung der linken Grenze des nächsten Ringes 5 (punktierte Dreiecke) gebracht, dann wieder die Scheibe durch Fingerdruck auf den Knopf C arretiert und so fort. Wenn der letzte, schmalste Ring nicht zufällig die Umgrenzung berührt, so entsteht ein Reststück (in der Abbildung Ring 3). Man zieht nun mit Bleistift auf der Karte den kurzen Hilfsstrich a, welcher die Grenze mit der äußeren Kreislinie verbindet und erkennt leicht, wie die zur Planimetrierung nötigen schraffierten und punktierten Figürchen entstehen.

Den gesuchten Flächeninhalt des Flächenstücks liest man folgendermaßen ab. Zeigt der Index F z. B. am Zählrad zwischen die umrundeten Ziffern 120 und 160 mit der

---

[1]) In der Abbildung 1 ist es die zwischen den Ringnummern 3 und 4 liegende Kreislinie, ebensogut aber hätte man die zwischen 4 und 5 zur Berührung bringen können, da die Fläche durch PP' keineswegs bis auf das Zentimeter genau, sondern nur ganz ungefähr halbiert zu werden braucht, so daß Spielraum genug vorhanden ist. Übrigens ist die verlangte Aufstellung auch am bequemsten und natürlichsten, weil PP' die Platte B_1 halbiert, so daß sie eine symmetrische Lage über dem Flächenstück erhält. Wo es dagegen mehr auf Schnelligkeit als hohe Genauigkeit z. B. bei Einschätzungsberechnungen ankommt, wird man obige Aufstellungsregel außer acht lassen und die Figur unter die breitesten Ringe 1,2 usw. (nahe der Scheibe) bringen.

[2]) Liegt die Scheibe links, so kann man auch dadurch arretieren, daß man mit der Linken über sie hinweg greifend bei A mit dem Daumen und bei A' mit dem Zeigefinger direkt auf die Scheibe drückt (bei länglichen Figuren zweckmäßig). Dagegen genügt es nicht, nur an einer Stelle etwa bei A allein oder bei A' zu drücken.

[3]) Es lohnt sich im Interesse einer hohen Genauigkeit der Mühe, beim Einstellen der Vektorlinie nicht vorschnell zu sein und die längst bekannte Eigenschaft des menschlichen Auges, kleine Flächen (die schraffierten und punktierten Figürchen) mit größter Schärfe auf ihre Gleichheit abzuschätzen, voll auszunutzen. Zweckmäßig stellt man das Instrument von vornherein so auf, daß diese Figürchen im allgemeinen nicht zu spitz werden.

Scheibenablesung 3467 (umrundete 34), so bildet man im Kopf $120 + 34 = 154$ und hat den Flächeninhalt im Maßstab 1:1000 zu 15467 qm. Um die inneren Teilungen von Zählrad und Scheibe (eingeeckte Ziffern) zu benutzen (vgl. auch *diese Zeitschr. Jahrg. 1926, S. 69, Z. 20 bis 36*), liest man die Scheibenteilung am Index F'' ab. In diesem Falle ergibt analog die 10fache Ablesung den Flächeninhalt in 1:2500[1]).

Theorie.

Wie erwähnt sind die Zelluloidplatten B und B_1 nur in den Punkten H und H_1 an den Messingschienen E befestigt, während N und N_1 als Halteschrauben dienen, welche nicht fest angezogen sind und daher den Platten bei Temperatur- und Feuchtigkeitseinflüssen[2]) oder zum Eintrocknen freie Bewegung gestatten. Das punktierte Ringstück bei F sei die Trennungsfläche zwischen den Platten B, B_1. Hat nun die Polspitze C zur Zeit t des Einreißens der Kreislinien (Gravierung) in die Platte B_1 der Abstand u (vgl. die Abb.) von der Verbindungslinie der Befestigungspunkte H, den Abstand r_n (Vektorlänge) von der $n$ten Kreislinie und letztere die Entfernung v von der Befestigungslinie $H_1 H_1$, ist ferner λ der Einschwand[3]) des Zelluloids für die Einheit zur Zeit t' der späteren Benutzung des Instruments durch den Rechner, so ist die neue Vektorlänge (Pol C')

$$r'_n = r_n + \lambda \cdot u + \lambda \cdot v .$$

Da der Ausdehnungskoeffizient des Messings dem Wert λ gegenüber verschwindet, so ist zu allen Zeiten $u + r_n + v = s$ gleich der konstanten Entfernung $H H_1$. Die Substitution von $u + v$ ergibt:

$$r'_n = (1 - \lambda)\, r_n + \lambda s . \qquad 1)$$

Für die $(n+1)$te Kreislinie gilt entsprechend:

$$r'_{n+1} = (1 - \lambda)\, r_{n+1} + \lambda s . \qquad 2)$$

Setzt man 1) und 2) in die Gleichung $2\,\Delta F_n = \varphi_n (r'^2_{n+1} - r'^2_n)$, wo ΔF_n die Fläche des $n$ten Ringsektors mit der Anomalie φ_n ist, ein, so erhält man

$$2\,\Delta F_n = (1-\lambda)^2 \varphi_n (r^2_{n+1} - r^2_n) + 2\, s\, \lambda (1 - \lambda)\, \varphi_n (r_{n+1} - r_n) . \qquad 3)$$

Bei der zur Zeit t hergestellten Gravierung hatten die vollen Kreisringe den konstanten Inhalt[4])

$$k = (r^2_{n+1} - r^2_n)\, \pi = 4000 \text{ qmm} .$$

Als Fläche einer beliebig begrenzten Figur F findet man durch Summierung von 3):

$$F = \frac{k}{2\pi} \sum \varphi_n - \lambda \left[(2 - \lambda) \frac{k}{2\pi} \sum \varphi_n - (1 - \lambda)\, s \sum \varphi_n (r_{n+1} - r_n) \right] . \qquad 4)$$

Die je nach dem Kartenmaßstab an der äußeren resp. inneren Scheibenteilung abzulesende $\sum \varphi_n$ kann also mit der Konstanten $\frac{k}{2\pi}$ multipliziert nur dann den Flächen-

---

[1]) Soll eine Figur zwecks weiterer Erhöhung der Genauigkeit mehrfach berechnet werden usw., so beachte man auch das in *dieser Zeitschr. 1926, S. 70, Z. 23 bis 32 und 36 bis 40* gesagte.

[2]) Eine selbsttätige Kompensation der Temperatureinflüsse für Längenmessungen wurde in England (vgl. Clarke Geodesy 1880) durch „Colbys Kompensationsstangen", eine konstruktive Verbindung von Messing- und Eisenschienen erreicht und fand bei Basismessungen Verwendung.

[3]) Unter der Annahme, daß B und B_1 aus demselben Stück geschnitten, also gleichaltrig und von gleicher Struktur sind.

[4]) Vgl. *diese Zeitschr.* **46.** *S. 67. Abschn. 2 unten. 1926.*

inhalt F richtig ergeben, wenn in 4) der Klammerausdruck gleich Null ist, was auf die Bedingung führt:

$$\frac{1}{2}s = \frac{2-\lambda}{2-2\lambda}\cdot\frac{k}{2\pi}\cdot\frac{\sum\varphi_n}{\sum\varphi_n(r_{n+1}-r_n)}.$$

Ersetzt man nach 4) $\frac{k}{2\pi}\cdot\sum\varphi_n$ durch F und läßt λ fort, da es klein (unter 0,01) ist, also gegen 2 verschwindet, so wird:

$$\frac{1}{2}s = \frac{F}{\sum\varphi_n(r_{n+1}-r_n)}. \qquad 5)$$

Dies ist ein allgemeiner Ausdruck für den Abstand der Mitte M einer beliebig begrenzten Fläche F von Pol C, was sich besonders leicht an dem Ringsektor $TUVW$ erkennen läßt. Hier sind die φ_n gleich, so daß $\sum\varphi_n(r_{n+1}-r_n) = \varphi\sum(r_{n+1}-r_n) = \varphi\cdot TU$. Ferner ist bekanntlich $F = \varphi\cdot CM\cdot TU$. Durch Einsetzen der beiden letzten Formeln in 5) hebt sich $\varphi\cdot TU$, also ist

$$CM = \frac{1}{2}s = \frac{1}{2}HH_1.$$

Dies bedeutet in Worten, daß man die transparente Platte B_1 mit ihrer Gravierung so über die zu planimetrierende Fläche bringen muß, daß letztere durch die Linie PP', deren fester Abstand vom der Polspitze C gleich $\frac{1}{2}HH_1$ ist, mitten durchgeschnitten wird, wenn fehlerfrei gerechnet, also der Klammerausdruck in 4) zu Null werden soll, womit die selbsttätige Kompensation erwiesen ist.

Über die Gesetze zweiter Ordnung längs einem Meridianstrahl in Rotationssystemen.

Von

M. Herzberger in Jena.

Die Arbeiten von Prof. Gullstrand haben zuerst darauf hingewiesen, daß von einer Untersuchung der differentialgeometrischen Eigenschaften von Strahlensystemen für die Optik wesentliche Fortschritte zu erwarten sind. A. a. Orte[1]) habe ich versucht, eine der wichtigsten hierauf bezüglichen Problemstellungen auf eine etwas leichter verständliche Art zu behandeln, und die Ergebnisse in ein System zu bringen, wie es der praktische Rechner verwenden kann.

Ich möchte an dieser Stelle einen kurzen Überblick über die dort gefundenen Ergebnisse bringen, und versuchen, die erhaltenen Resultate anschaulich zu deuten.

Ein Strahlensystem, das irgendwann einmal von einem Punkt herkam, sei es, daß man nun das System der von einen Punkt des Objekts herkommenden Strahlen herausgreift, sei es, daß man das Hauptstrahlenbündel betrachtet, das durch einen festen Punkt der Blende geht, ein solches Strahlensystem behält immer die Eigenschaft, daß es eine Schar von Flächen gibt, die alle Strahlen senkrecht schneiden. Man erhält diese Flächen, die sogenannten Wellenflächen, indem man von dem Ausgangspunkt aus auf allen Strahlen feste Lichtwege Σns abträgt. Ein solches Strahlensystem hat bekanntlich

---

[1]) Zeitschr. f. angew. Mathematik 1928.

verschiedene interessante Eigenschaften; es gibt zwei Flächen, die von allem Strahlen des Systems berührt werden. Jeder Strahl eines Normalenystems berührt also zwei Flächen, und es ergibt sich weiter, daß die Tangentialebenen an diese Flächen in den Berührungspunkten unseren Strahl enthalten, und außerdem aufeinander senkrecht stehen. Man nennt diese Ebenen die Hauptschnitte des Bündels. Betrachten wir insbesondere einen Strahl, der in der Meridianebene eines zentrierten optischen Systems liegt, also die Systemachse schneidet; betrachten wir das Bündel, das von einem in irgendeinem Medium auf diesem Strahl gelegenen Punkt herkommt, dann berührt dieser Strahl nach dem Durchgang die beiden Brennflächen. Diese beiden Berührungspunkte bezeichnet man als das tangentiale, bzw. sagittale Bild unseres Ausgangspunktes; die beiden Hauptschnitte sind dann die Ebene durch Meridianstrahl und Achse, die die sogenannte sagittale Bildfläche berührt, und die dazu senkrechte Ebene durch unsern Strahl, der die sogenannte meridionale Kaustik berührt. Man begnügt sich im allgemeinen damit, die beiden Berührungspunkte mit den kaustischen Flächen auf einem oder auf mehreren Strahlen zu berechnen und ihren Abstand voneinander, die sogenannte astigmatische Differenz, als Maß für die Güte der Strahlenvereinigung zu betrachten.

Es ist aber vielleicht des öfteren wertvoll, wenn man einen genaueren Überblick über die Gestalt der beiden kaustischen Flächen in der Umgebung unseres Hauptstrahls erhalten kann.

Für die sagittale Kaustik gewinnt man aus a. a. O. ausgeführten Überlegungen folgende allgemeinen Erkenntnisse. Die sagittale Kaustik durchstößt die Meridianebene, die sie berührt, in einer Kurve, die eine isolierte Gerade der Fläche darstellt; d. h. ihre sämtlichen Punkte sind Punkte, in denen der Krümmungsradius der auf ihr senkrechten Flächenkurve verschwindet.

Über die Eigenschaften der sogenannten tangentialen kaustischen Fläche kann man nur die schon oben angeführte Tatsache allgemein angeben, daß diese Fläche die Ebene durch den Strahl senkrecht zur Meridianfläche berührt. Sie durchsetzt die Meridianfläche in einer Kurve, der sogenannten meridionalen kaustischen Kurve, die wiederum alle im Meridianschnitt gelegenen Strahlen unseres Bündels berührt. Es ist nun nicht ohne Interesse, daß man sowohl die Gaußsche Krümmung der tangentialen kaustischen Fläche, als auch die Krümmung ihrer Schnittkurve mit der Meridianebene von Fläche zu Fläche durchrechnen kann.

Ich will hier die Methoden der Durchrechnung zuerst allgemein angeben; wir werden sie dann für ein System zentrierter Kugelflächen noch weiter spezialisieren.

Zuerst schreiben wir noch einmal die bekannten Gesetze erster Ordnung auf, die die kaustischen Punkte (die Berührungspunkte mit den kaustischen Flächen) nach der Brechung geben, wenn dieselben vor der Brechung gegeben sind.

Sei t, bzw. s die Entfernung der kaustischen Punkte vom Einfallspunkt vor der Brechung, sei i der Einfallswinkel, seien ferner r_t bzw. r_s die beiden Hauptkrümmungsradien der brechenden Fläche, und zwar r_t die Krümmung der Meridiankurve, während r_s die Flächenkrümmung der kreisförmigen Sagittalkurve darstellt. Setzen wir

$$\left.\begin{aligned} &\beta = \frac{\cos^2 i}{t}, \quad \gamma = \frac{1}{s}; \\ &\beta_F = \frac{1}{r_t}, \quad \gamma_F = \frac{1}{r_s}; \\ &\Gamma = \Delta\ (n \cos i), \end{aligned}\right\} \qquad 1)$$

so werden die Gleichungen erster Ordnung

$$\left.\begin{aligned} \Delta\, n\beta &= \Gamma\,\beta_F\,, \\ \Delta\, n\gamma &= \Gamma\,\gamma_F\,. \end{aligned}\right\} \qquad 2)$$

Hier bedeutet das Zeichen Δ in bekannter Weise, daß von der dahinterstehenden Größe die Differenz vor und nach der Brechung gebildet werden soll. Mit Hilfe von 1) und 2) ist man imstande, aus t und s die Größen t' und s' zu berechnen.

Wir wollen jetzt die analogen Gleichungen für die Größen zweiter Ordnung aufstellen. Gegeben sei K, die Gaußsche Krümmung für die tangentiale Kaustik im Berührungspunkt mit dem Hauptstrahl, außerdem R, der Krümmungsradius der Meridiankurve, analog K_F, R_F für die brechende Fläche; es seien weiter die Größen erster Ordnung durchgerechnet.

Gesucht sind R', K'.

Wir setzen

$$\left.\begin{aligned} \beta_\tau &= \frac{R\cos^3 i}{t^3} - \frac{3\cos^2 i \sin i}{t^2} + 2\,\frac{\sin i \cos i}{t\, r_t} \\ \gamma_\tau &= R\,K\,\frac{(t-s)\cos i}{t\,s^2} - \frac{\sin i}{s^2}\,, \end{aligned}\right\} \qquad 3)$$

insbesondere

$$\left.\begin{aligned} \beta_{F\tau} &= \frac{R_F}{r_t^{\,3}} \\ \gamma_{F\tau} &= \frac{R_F\,K_F\,(r_t - r_s)}{r_t\, r_s^{\,2}}\,. \end{aligned}\right\} \qquad 4)$$

Dann sind die Gleichungen zweiter Ordnung gegeben durch

$$\left.\begin{aligned} \Delta\, n\,\beta_\tau + \frac{n\sin i}{r_t}\,\Delta\,\frac{\cos i}{t} &= \Gamma\,\beta_{F\tau} \\ \Delta\, n\,\gamma_\tau + \frac{n\sin i}{r_t}\,\Delta\,\frac{\cos i}{t} &= \Gamma\,\gamma_{F\tau}\,. \end{aligned}\right\} \qquad 5)$$

Aus 3) erhält man dann umgekehrt R' und K'. Es dürfte vielleicht nicht uninteressant sein, die Bedeutung von β_T und γ_T zu erfahren. Es sind die Ableitungen von β und γ nach τ, wenn als Variable τ die Bogenlänge der Meridiankurve der brechenden Fläche genommen wird. Ist σ die Bogenlänge der Sagittalkurve, so ergibt sich natürlich geometrisch sofort, daß stets

$$\beta_\sigma = \gamma_\sigma = 0 \qquad 6)$$

ist, da ja um die Achse Symmetrie besteht. Ist insbesondere die brechende Fläche eine Kugelfläche, so wird $\beta_F = \gamma_F = \frac{1}{r}$ und wir finden

$$\beta_{F\tau} = \gamma_{F t} = 0 \qquad 7)$$

d. h. 5) wird

$$\Delta\, n\,\beta_\tau = \Delta\, n\,\gamma_\tau = -\,\frac{n\sin i}{r}\,\Delta\,\frac{\cos i}{t}\,, \qquad 8)$$

was die Rechenarbeit noch wesentlich vereinfacht.

Über die Ermittlung der Farbkoordinaten aus den Messungen am trichromatischen Kolorimeter.

Von
I. Runge in Berlin.

Es unterliegt wohl keinem Zweifel mehr, daß eine rationelle Farbenlehre die Kennzeichnung der Farben auf das Maxwellsche Dreieck der Grundempfindungen beziehen muß, dessen Lage mit Bezug auf die Spektralfarben durch die Königschen und Ivesschen Messungen bestimmt ist und voraussichtlich in Zukunft durch weitere sorgfältige Messungen immer genauer festgelegt werden wird. Damit ist aber keineswegs gesagt, daß die Auffindung des Farbpunktes einer vorgelegten Farbe gerade auf dem Wege der spektrographischen Zerlegung und Multiplikation mit den Königschen Kurven geschehen muß. Da diese Methode ziemlich mühsam ist, empfiehlt es sich vielmehr, einen kürzeren Weg zu gehen, indem man die betreffende Farbe durch die drei Messungen eines geeigneten Kolorimeters bestimmt. Es entsteht dann die Aufgabe, aus den Angaben des Kolorimeters auf rasche und bequeme Art die Farbkoordinaten oder den Ort im Dreieck der Grundempfindungen zu finden. Die vorliegende Arbeit löst diese Aufgabe für trichromatische Kolorimeter mit Hilfe eines Diagramms, das für ein gegebenes trichromatisches Kolorimeterfarbensystem ein für allemal angefertigt werden kann und dann für jede am Kolorimeter gemessene Farbe unmittelbar den Farbpunkt einzustechen und die Farbkoordinaten abzulesen erlaubt. Es läßt sich ferner noch ein zweites Diagramm angeben, mit dem auch der Helligkeitswert der untersuchten Farbe, also das, was man durch Multiplikation der spektralen Verteilung mit der Augenempfindlichkeitskurve erhält, leicht aus den Kolorimeterdaten ermitteln läßt.

I. Das Kolorimeter und seine Eichung.

Der Grundgedanke des trichromatischen Kolorimeters, z. B. des Instrumentes von Guild[1]), besteht darin, daß die zu untersuchende Farbe durch ein meßbares Gemisch von drei festen Farben nachgeahmt wird. Das Guildsche Kolorimeter erreicht dies durch drei Farbfilter in Sektorform, die durch Schieber in meßbarem Grade abgedeckt werden können. Durch die drei Sektoren fällt das Licht einer gemeinsamen Lampe, wird durch ein rotierendes Prisma gemischt und beleuchtet die eine Hälfte des Gesichtsfeldes, während die andere Hälfte durch die zu untersuchende Farbe ausgefüllt wird. Man stellt nun die Schieber der drei Sektoren so ein, daß die beiden Hälften des Gesichtsfeldes gleichfarbig erscheinen. Läßt sich die Farbe aus den drei Filterfarben nicht mischen, so kann ihr eine meßbare Menge von einer der drei Filterfarben zugemischt werden, so daß die entstehende Farbe sich aus den beiden anderen Filterfarben mischen läßt. In diesem Falle gibt man die Menge der zugemischten Farbe als negative Menge an. Die drei Ablesungen an den Schiebern des Kolorimeters, gegebenenfalls an der Zumischvorrichtung, geben also an, aus welchen positiven oder negativen Mengen dreier empirisch festliegender Farben sich ein der vorgelegten Farbe gleiches Gemisch herstellen läßt. Als Mengeneinheiten gelten dabei die empirischen Farbmengen, die jeder Sektor bei der Schieberstellung 1 liefert. Die Filter des Instrumentes sind rot, grün und blau, und zwar geben sie ein fast monochromatisches Licht.

Um die Beziehung zum Grundempfindungsdreieck zu bekommen, muß das Instrument natürlich zunächst geeicht werden, d. h. es müssen drei bekannte Farben, am

---

[1]) *Transact. Opt. Soc.* **27.** *S. 106. 1925/26;* Referat in *dieser Zeitschr.* **46.** *S. 593. 1926.*

besten Spektralfarben mit dem Kolorimeter selbst gemessen werden. Bezeichnet man die Einheitsmengen der drei Filterfarben mit $R_1\, G_1\, B_1$, die der drei Eichfarben mit $R_2\, G_2\, B_2$, so erhält man durch diese Messung die Koeffizienten eines Gleichungssystems, das die Größen $R_2\, G_2\, B_2$ linear durch die $R_1\, G_1\, B_1$ ausdrückt. Da die Farbkoordinaten der Eichfarben $R_2\, G_2\, B_2$ in bezug auf die Grundempfindungen $R\, G\, B$ aus den Königschen Kurven entnommen werden können, lassen sich aus diesen drei Gleichungen durch einfache Umrechnungen drei andere gewinnen, in denen die drei Filterfarben $R_1\, G_1\, B_1$ unmittelbar durch die Grundempfindungen $R\, G\, B$ ausgedrückt werden. Die dazu nötigen algebraischen Operationen sind von Guild in der Arbeit „*Transformation of trichromatic mixture data, algebraic method*"[1]) angegeben. Um die praktische Anwendung auf das Kolorimeter zu erleichtern, sei der Rechnungsgang hier kurz nochmals dargestellt.

II. Die Berechnungen der Transformationsgleichungen.

Es mögen also drei bekannte Spektrallinien mit dem Kolorimeter gemessen sein. Als Einheitsmengen $R_2\, G_2\, B_2$ dieser drei Farben gelten diejenigen Mengen von ihnen, die gemischt Weiß ergeben. Da wir zunächst nicht wissen, wie sich die bei der Eichung benutzten Mengen (Intensitäten der betreffenden monochromatischen Lichtquellen) zu diesen Einheitsmengen verhalten, bezeichnen wir die Eichmengen als $x R_2$, $y G_2$, $z B_2$, und werden die $x y z$ später bestimmen. Die Eichung liefert uns unmittelbar die drei Gleichungen

$$\begin{aligned} x R_2 &= \alpha R_1 + \alpha' G_1 + \alpha'' B_1, \\ y G_2 &= \beta R_1 + \beta' G_1 + \beta'' B_1, \\ z B_2 &= \gamma R_1 + \gamma' G_1 + \gamma'' B_1, \end{aligned} \tag{1}$$

worin die $\alpha \alpha' \ldots \gamma''$ die gefundenen Ablesungen sind. Diese Gleichungen werden nun nach $R_1\, G_1\, B_1$ aufgelöst, was mit dem Rechenschieber leicht auszuführen ist. Man erhält

$$\begin{aligned} R_1 &= \lambda (x R_2) + \lambda' (y G_2) + \lambda'' (z B_2), \\ G_1 &= \mu (x R_2) + \mu' (x G_2) + \mu'' (z B_2), \\ B_1 &= \nu (x R_2) + \nu' (y G_2) + \nu'' (z B_2), \end{aligned} \tag{2}$$

worin die $\lambda \lambda' \ldots \nu''$ neue numerische Koeffizienten sind. Jetzt werden die $x y z$ bestimmt mit Hilfe der Bedingung, daß die $R_2\, G_2\, B_2$ zusammen Weiß ergeben müssen. Zu dem Zweck sucht man am Kolorimeter die Ablesungen $r_w\, g_w\, b_w$ auf, die sich für die Einstellung eines rein weißen Lichtes ergeben. Es muß dann

$$R_2 + G_2 + B_2 = r_w R_1 + g_w G_1 + b_w B_1$$

sein und daraus ergibt sich mit Hilfe von 2)

$$\begin{aligned} x &= \frac{1}{r_w \lambda + g_w \mu + b_w \nu}, \\ y &= \frac{1}{r_w \lambda' + g_w \mu' + b_w \nu'}, \\ z &= \frac{1}{r_w \lambda'' + g_w \mu'' + b_w \nu''}. \end{aligned}$$

Setzt man dies in 2) ein, so hat man die eigentlichen Transformationsgleichungen, die

---

[1]) *Transact. Opt. Soc.* **26.** *S. 95. 1924/25;* Referat in *dieser Zeitschr.* **46.** *S. 40. 1926.* Vgl. auch Dziobek, Über die Transformation von einem trichromatischen System auf ein anderes. *Diese Zeitschr.* **46.** *S. 81. 1926.*

die Einheiten des Kolorimetersystems $R_1\,G_1\,B_1$ durch die des Eichfarbensystems $R_2\,G_2\,B_2$ zahlenmäßig ausdrücken.

Zu dem Guildschen Kolorimeter wird von der Herstellerfirma ein Eichschein des *National Physical Laboratory* mitgeliefert, in dem diese Gleichungen für ein spezielles Eichsystem mit angegebenen Wellenlängen numerisch angeführt sind, allerdings mit dem Unterschied, daß die Buchstaben $R_1\,G_1\,B_1$ dort für diejenigen Mengen der Kolorimeterfilterfarben gebraucht werden, die zusammen Weiß ergeben, also für die im vorstehenden mit $r_w R_1, g_w G_1, b_w B_1$ bezeichneten Mengen. Man hat daher die im Eichschein gegebenen numerischen Koeffizienten zeilenweise durch r_w, g_w bzw. b_w zu dividieren, um die Gleichungen in der Bezeichnungsweise dieses Aufsatzes zu erhalten. Für den Apparat Nr. H. 93302/27202 ergaben sich beispielsweise nach Ausführung dieser Divisionen die Gleichungen

$$\begin{aligned} R_1 &= 1{,}164\,R_2 + 0{,}065\,G_2 + 0{,}001\,B_2\,, \\ G_1 &= -\,0{,}155\,R_2 + 0{,}883\,G_2 + 0{,}015\,B_2\,, \\ B_1 &= \phantom{-\,0{,}155\,R_2 + 0{,}883\,G_2 +\,} 0{,}398\,B_2\,, \end{aligned} \qquad 3)$$

da für $r_w g_w b_w$ die Zahlen 1,00 1,06 und 2,467 gefunden worden waren.

Aus diesem Eichfarbensystem soll nun weiter zum Grundempfindungssystem übergegangen werden. Da die Wellenlängen der drei Eichfarben bekannt sind, können aus den Königschen Tabellen oder Kurven diejenigen Mengen der Grundempfindungen festgestellt werden, die gemischt die drei Eichfarben ergeben. Für die Transformationsgleichungen brauchen wir aber solche Gleichungen, die genau die Einheitsmengen der Eichfarben angeben. Wir müssen daher wiederum die aus den Königschen Zahlen entstehenden Mengen als unbekannte Größen $\xi\,\eta\,\zeta$ einführen und nachträglich bestimmen.

Als Beispiel führen wir die Rechnung für das in dem erwähnten Eichschein angegebene Eichfarbensystem durch. Die Wellenlängen der Eichfarben sind

$$\begin{aligned} R_2 &: \lambda = 0{,}700\,, \\ G_2 &: \lambda = 0{,}5461\,, \\ B_2 &: \lambda = 0{,}4358\,. \end{aligned}$$

Nach den von Ives modifizierten Königschen Tabellen erhält man dafür die Gleichungen

$$\begin{aligned} \xi\,R_2 &= 0{,}0048\,R + 0{,}0007\,G\,, \\ \eta\,G_2 &= 0{,}4249\,R + 0{,}5753\,G + 0{,}0240\,B\,, \\ \zeta\,B_2 &= 0{,}0089\,R + 0{,}0015\,G + 0{,}7029\,B\,. \end{aligned} \qquad 4)$$

Da nun $R_2 + G_2 + B_2 = R + G + B$ sein muß, so erhalten wir für $\xi\,\eta\,\zeta$ die Gleichungen

$$\begin{aligned} \frac{1}{\xi}\,0{,}0048 + \frac{1}{\eta}\,0{,}4249 + \frac{1}{\zeta}\,0{,}0089 &= 1\,, \\ \frac{1}{\xi}\,0{,}0007 + \frac{1}{\eta}\,0{,}5753 + \frac{1}{\zeta}\,0{,}0015 &= 1\,, \\ \frac{1}{\eta}\,0{,}0240 + \frac{1}{\zeta}\,0{,}7029 &= 1\,. \end{aligned} \qquad 5)$$

Hieraus können $\frac{1}{\xi}, \frac{1}{\eta}, \frac{1}{\zeta}$ berechnet werden[1]). Setzt man die Lösungen in die Glei-

[1]) Die doppelte Berechnung der Faktoren $x\,y\,z$ und $\xi\,\eta\,\zeta$ läßt sich übrigens auf eine zurückführen, wenn man 4) gleich in 2) einsetzt, und die dann auftretenden Verhältnisse $\frac{x}{\xi}\,\frac{y}{\eta}\,\frac{z}{\zeta}$ aus der

chungen 4) ein, so erhält man die Transformationsgleichungen aus dem System der Eichfarben in das der Grundempfindungen

$$\begin{aligned} R_2 &= 0{,}2808\,R + 0{,}0409\,G\,, \\ G_2 &= 0{,}707\ \ R + 0{,}957\ \ G + 0{,}0399\,B\,, \\ B_2 &= 0{,}0122\,R + 0{,}0020\,G + 0{,}950\ \ B\,. \end{aligned} \qquad 6)$$

Diese Werte für $R_2\,G_2\,B_2$ sind nun in das Gleichungssystem 3) einzusetzen. Man erhält dadurch $R_1\,G_1\,B_1$ ausgedrückt durch die $R\,G\,B$. Es ergibt sich

$$\begin{aligned} R_1 &= 0{,}373\ \ R + 0{,}109\ \ G + 0{,}0036\,B\,, \\ G_1 &= 0{,}582\ \ R + 0{,}839\ \ G + 0{,}0497\,B\,, \\ B_1 &= 0{,}0049\,R + 0{,}0008\,G + 0{,}3822\,B\,. \end{aligned} \qquad 7)$$

III. Die Ermittlung der Farbkoordinaten.

a) Geometrische Deutung der Aufgabe.

Diese vorbereitenden Rechnungen können für jedes Kolorimeter ein für allemal durchgeführt werden. Wir nehmen also an, daß ein Gleichungssystem von der Form

$$\begin{aligned} R_1 &= u\,R + u'\,G + u''\,B \\ G_1 &= v\,R + v'\,G + v''\,B \\ B_1 &= w\,R + w'\,G + w''\,B \end{aligned} \qquad 8)$$

seinen numerischen Koeffizienten nach gegeben ist. Sind nun für eine vorgelegte Farbe F die Kolorimeterablesungen $r_f\,g_f\,b_f$ gefunden, so besteht die Ermittlung der Farbkoordinaten rechnerisch darin, in die Summe $F = r_f R_1 + g_f G_1 + b_f B_1$ die Werte aus den Gleichungen 8) einzusetzen und nach $R\,G\,B$ zu ordnen. Die Koeffizienten von $R\,G$ und B durch ihre Summe dividiert geben die Farbkoordinaten. Diese etwas zeitraubenden Multiplikationen und Additionen sollen nun durch die Benutzung eines Diagramms vermieden werden.

Geometrisch bedeutet das Gleichungssystem 8) die Angabe der den Filterfarben entsprechenden Farbpunkte im Grundempfindungsdreieck, denn in jeder Zeile geben die drei Koeffizienten, wenn man jede durch die Summe der drei dividiert, die Farbkoordinaten der auf der linken Seite stehenden Filterfarbe. Darüber hinaus geben die Gleichungen auch noch die Mengen an, die im Grundempfindungssystem den oben festgesetzten Einheiten der Filterfarben zukommen. Es sind dies die Koeffizientensummen jeder Zeile. Stellt in Abb. 1 $R\,G\,B$ das Grundempfindungsdreieck dar, so kennen wir also die Lage der drei Punkte $R_1\,G_1\,B_1$, die im allgemeinen ein ungleichseitiges Dreieck bilden, und die

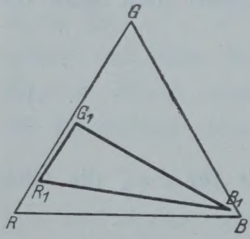


Abb. 1.

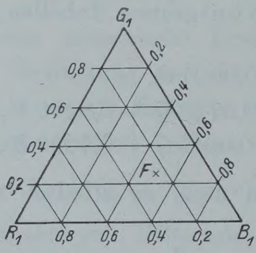


Abb. 2.

Gewichte, denen die Einheitsmengen der drei Filterfarben entsprechen. Hätten wir nun die Farben $R_1\,G_1\,B_1$ selbst zu Bezugsfarben gewählt, so würden wir zur Bestimmung des Farbpunktes einer gemessenen Farbe F ein gleichseitiges Dreieck zu zeichnen haben, an dessen Ecken $R_1\,G_1\,B_1$ liegen würden, und das durch je 9 äquidistante Parallele zu den drei Seiten in ein Netz gleichseitiger Dreiecke eingeteilt wäre. Die Quotienten der drei Kolorimeterablesungen $r_f\,g_f\,b_f$ durch deren Summe würden uns

Bedingung $r_w R_1 + g_w G_1 + b_w B_1 = R + G + B$ bestimmt. Der umständlichere Weg über die Gleichungen 3) wurde hier nur deshalb gewählt, weil die Gleichungen 3) nicht selbst berechnet zu werden brauchten, sondern aus dem Eichschein entnommen werden konnten.

die Farbkoordinaten für dies Dreieck geben, aus denen man durch Aufsuchen der entsprechenden Netzgeraden den Farbpunkt F findet. (Z. B. für $r_f = 0{,}5$; $g_f = 0{,}5$; $b_f = 1{,}0$ den in Abb. 2 eingezeichneten Punkt F.) Es ist nun bekannt, daß alle möglichen Darstellungen der Farbebene in bezug auf beliebige Systeme von drei Grundfarben zueinander in projektiver Beziehung stehen[1]). Dem Netz aus parallelen Geraden in Abb. 2 muß daher in Abb. 1 ein Netz aus drei Geradenbüscheln entsprechen, das ebenso wie das in Abb. 2 zu beziffern ist. Der Farbpunkt F liegt dann in diesem Netz zwischen den entsprechend bezifferten Netzgeraden wie in Abb. 2. Damit sind aber zugleich sein Ort im Dreieck $R\,G\,B$, und durch seine Abstände von dessen Seiten auch seine Farbkoordinaten bestimmt.

b) Konstruktion des Diagramms I.

Die projektive Beziehung zwischen Abb. 1 und Abb. 2 ist nun durch die Angabe der Lage von $R_1\,G_1\,B_1$ in $R\,G\,B$ und der zugehörigen Gewichte vollkommen bestimmt. Denn dem Mittelpunkt einer Seite des gleichseitigen Dreiecks Abb. 2 entspricht im ungleichseitigen Dreieck Abb. 1 der Punkt, der die Seite im Verhältnis der an den Enden angreifenden Gewichte teilt. Damit kennen wir auf jeder Dreieckseite drei entsprechende Punkte, woraus die ganze projektive Skala mit Hilfe von Strahlenbündeln gefunden werden kann. Aus den gegenseitigen Zuordnungen dreier Geradenpaare ist dann die der ganzen Ebene bestimmt.

Wir brauchen die Konstruktion aber nur an einer Seite auszuführen (s. Abb. 3). Es werde die Seite $G_1\,B_1$ gewählt. Wir ziehen von G_1 aus einen beliebigen Strahl $G_1\,X$, auf dem wir zehn gleiche Teile abtragen. Der Teilpunkt von $G_1\,B_1$ im Verhältnis der Gewichte der Skaleneinheiten von G_1 und B_1 sei M. Wir verbinden den 10. Teilstrich auf dem Strahl mit B_1, den 5. mit M. Der Schnittpunkt dieser Verbindungslinien liefert das Projektionszentrum S_1, von wo aus die zehn Teilstriche auf $G_1\,B_1$ projiziert werden.

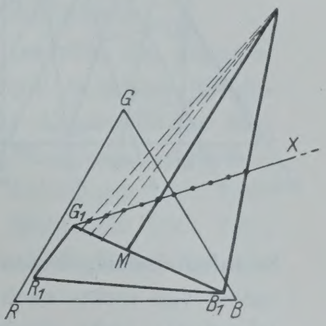


Abb. 3.

Man könnte dieselbe Konstruktion auf den beiden anderen Seiten wiederholen und entsprechende Teilpunkte auf je zwei Seiten verbinden. Etwas bequemer ist der folgende Weg. Da der ∞ ferne Punkt der 4. harmonische zur Streckenmitte ist, kann der Fluchtpunkt der Geraden $R_1\,G_1$ einfach durch äußerliche Teilung von $R_1\,G_1$ im Verhältnis der Gewichte von R_1 und G_1 gewonnen werden. Dieser Punkt muß der Schnittpunkt der sämtlichen Netzgeraden sein, die im gleichseitigen Dreieck (Abb. 2) der Seite $R_1\,G_1$ parallel sind. Durch die bereits konstruierten zehn Teilpunkte auf $G_1\,B_1$ kann also diese Netzgeradenschar gezeichnet werden. Damit finden wir die 10 Teilpunkte der Seite $R_1\,B_1$. Konstruieren wir nun den äußeren Teilpunkt der Geraden $G_1\,B_1$ (also den 4. harmonischen Punkt zu $B_1\,M\,G_1$), so ist dies der Fluchtpunkt, in dem sich alle Netzgeraden schneiden, die im gleichseitigen Dreieck (Abb. 2) $G_1\,B_1$ parallel sind. Durch Verbinden dieses Fluchtpunktes mit den Teilpunkten auf $R_1\,B_1$ werden also diese Netzgeraden gefunden und damit auch die Teilpunkte auf $R_1\,G_1$. Die dritte Geradenschar findet man durch Verbinden der Teilpunkte auf $R_1\,G_1$ und $G_1\,B_1$.

---

[1]) Vgl. z. B. Schrödinger, Farbenmetrik. *Ann. d. Physik* **63.** *S. 397, 1920.*

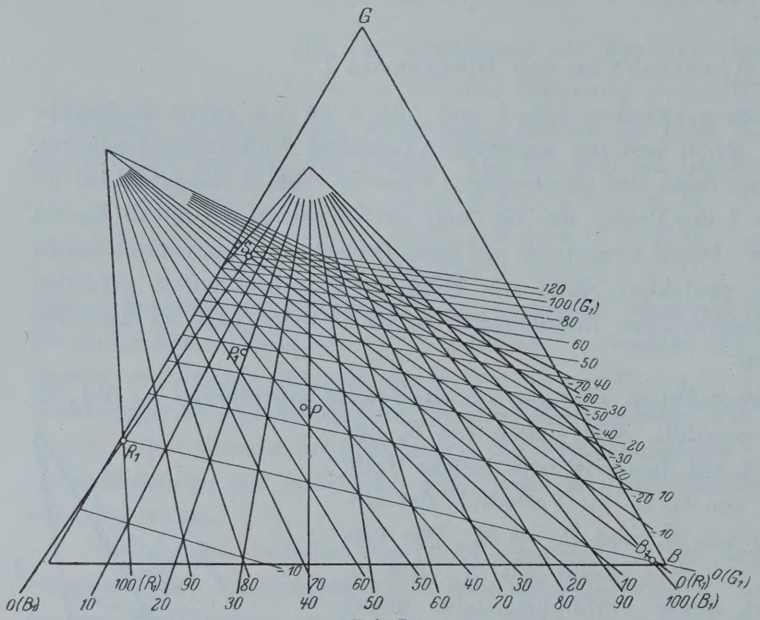
c) Benutzungsbeispiel zum Diagramm I.

Tafel I zeigt das nach diesen Angaben ausgeführte Diagramm für das Seite 387 erwähnte Guildsche Kolorimeter. Zur bequemeren Benutzung wird man es am besten auf durchsichtigem Papier oder Celluloid ausführen. Die Anwendung gestaltet sich dann wie folgt.

Bei der Messung am Kolorimeter mögen sich für die Öffnungsablesungen der drei Filter die Zahlen 42, 13, und 34 ergeben haben. Man bildet die Summe

$$42 + 13 + 34 = 89$$

und berechnet die prozentualen Anteile der drei Filter:



Tafel I.

$$\frac{42}{89} \cdot 100 = 47{,}2\,,$$

$$\frac{13}{89} \cdot 100 = 14{,}6\,,$$

$$\frac{34}{89} \cdot 100 = 38{,}2\,.$$

Man legt nun das durchsichtige Blatt auf ein gleichgroßes, gleichseitiges Dreieck mit der gewöhnlichen Dreiecknetzeinteilung, und zwar so, daß die Eckpunkte der gleichseitigen Dreiecke zusammenfallen. Jetzt wird der Farbpunkt im Diagramm wie folgt aufgesucht: die Rotkoordinate bestimmt einen Strahl des Strahlenbündels, dessen Schnittpunkt links oben in der Zeichnung liegt (Bezifferung unten, von rechts nach links laufend). Man interpoliert zwischen den Strahlen 40 und 50 auf den nicht gezeichneten Strahl 47,2. Die Grünkoordinate bestimmt in derselben Weise eine Gerade der ungefähr horizontal verlaufenden Geradenschar, deren Bezifferung rechts von unten nach oben laufend angebracht ist. Man interpoliert auf den Strahl 14,6. Der Schnitt beider Strahlen liefert bereits den Punkt (*P* in der Tafel I). Zur Kontrolle stellt man fest, ob der gefundene Punkt im dritten Strahlenbündel (Schnittpunkt oben im Dreieck, Bezifferung unten von links nach rechts) dem Strahl 38,2 entspricht.

Man sticht hierauf den Punkt ein, entfernt das Deckblatt und hat die Lage des Farbpunktes im Dreieck der Grundempfindungen. Die Farbkoordinaten in bezug auf dieses Dreieck ergeben sich in bekannter Weise aus den Abständen von den Dreiecksseiten.

IV. Die Ermittlung des Helligkeitswertes oder der Sichtbarkeit.

a) Kolorimeter und Helligkeit.

Da die Helligkeit eines Gemisches farbiger Lichter sich additiv aus den Helligkeiten der Komponenten zusammensetzt, kann man aus den drei Kolorimeterablesungen einer Farbe ihre Helligkeit berechnen, wenn die Helligkeiten der drei Kolorimeter-

filterfarben ein für allemal bestimmt sind. Eine solche Bestimmung hat natürlich nur in Verbindung mit der dabei benutzten Lichtquelle Sinn; bei der kolorimetrischen Messung muß dann auch dieselbe Lichtquelle benutzt werden. Die Berechnung der Helligkeit ist z. B. von besonderer Bedeutung bei der Untersuchung von farbigen Filtern, bei denen man außer dem Farbpunkt auch die Durchlässigkeit wissen will, d. h. die Helligkeit des von dem Filter durchgelassenen Lichtes im Vergleich zu der des einfallenden Lichtes. Auch bei der Untersuchung von Pigmentfarben ist der Bruchteil, den die Helligkeit des reflektierten Lichtes von der des einfallenden bildet, häufig von Interesse. Im allgemeinen verwendet man für diese Zwecke das Flimmerphotometer. Ob die Genauigkeit des hier vorgeschlagenen Verfahrens in praktischen Fällen ausreicht, muß erst durch die Anwendung erprobt werden. Da es sich in beiden Fällen nur um Verhältnisse von zwei Helligkeiten handelt, genügt es, wenn die Helligkeiten der drei Instrumentenfilter in irgendeiner willkürlichen Einheit bekannt sind. Will man dagegen die absolute Helligkeit eines farbigen Lichtes mit dem Kolorimeter bestimmen, so müssen die Helligkeiten der drei Filterfarben (in Verbindung mit der Lichtquelle) auch in absolutem Maße ermittelt sein, was durch Eichung mit einem Licht bekannter Helligkeit geschehen kann. In dem oben erwähnten Eichschein des *National Physical Laboratory* zu dem Guildschen Kolorimeter sind die Helligkeiten der drei „*Instrument Primaries*“ in relativem Maß angegeben, indem die Helligkeit des roten Filters = 1 gesetzt ist. Mit Hilfe dieser Angabe sind wir also in der Lage, z. B. die Durchlässigkeit eines vorgelegten Farbglases zu bestimmen.

b) Rechnerische und geometrische Form der Aufgabe.

Rechnerisch hätte dies auf folgende Art zu geschehen. Da sich die Angaben des Eichscheins auf solche Mengen der drei Instrumentfilterfarben beziehen, die zusammen Weiß ergeben, so müssen sie zuerst auf die durch die Ableseeinheiten dargestellten Mengen umgerechnet werden. Dies kann natürlich ein für allemal geschehen. Hat z. B. das Kolorimeter bei Einstellung auf weißes Licht die Ablesungen 1,00; 1,06; 2,47 ergeben, so sind die drei relativen Helligkeiten aus dem Eichschein 1,00; 2,51; 0,18 durch diese drei Zahlen zu dividieren. Es ergeben sich als Helligkeiten der Ableseeinheiten

$$1{,}00; \qquad \frac{2{,}51}{1{,}06} = 2{,}367; \qquad \frac{0{,}18}{2{,}47} = 0{,}0728\,.$$

Es wird nun zunächst das Farbglas mit seiner Lichtquelle und sodann die Lichtquelle allein, ohne das Farbglas, mit dem Kolorimeter gemessen. Die drei Ablesungen für Lichtquelle mit Farbglas wollen wir mit $r_f g_f b_f$, die für die Lichtquelle allein mit $r_e g_e b_e$ bezeichnen. Dann ist die Helligkeit des von dem Farbglase durchgelassen Lichtes

$$H_f = 1{,}00\, r_f + 2{,}367\, g_f + 0{,}0728\, b_f$$

und die des einfallenden Lichtes

$$H_e = 1{,}00\, r_e + 2{,}367\, g_e + 0{,}0728\, b_e\,.$$

Die Durchlässigkeit des Farbglases ist somit durch $\frac{H_f}{H_e}$ gegeben.

Auch für diese Berechnung soll nun ein dem unter IIIb besprochenen analoges Diagramm angegeben werden. Für die Ermittlung des Farbpunktes ist es, wie oben erwähnt, nötig, die drei Kolorimeterablesungen zuerst zu addieren und jede durch die Summe zu dividieren, d. h. also jede Farbe so zu reduzieren, daß ihr im System der Instrumentfilterfarben die Quantität 1 zukommt. Die Helligkeit jeder so reduzierten

Farbe ist eine eindeutig bestimmte Funktion des Ortes im Maxwellschen Dreieck. Es können nun ein für allemal die Linien, auf denen diese Helligkeit konstante Werte annimmt, konstruiert werden. Aus der Lage des Farbpunktes einer gemessenen Farbe kann man dann durch Interpolation sogleich die Helligkeit der Einheitsquantität dieser Farbe entnehmen; multipliziert man diese mit der schon vorher berechneten Summe der drei Ablesungen, so hat man die Helligkeit der Farbe selbst.

c) Konstruktion des Diagramms II.

Wenn die Einheitsmengen eines Systems von drei Farben an den Ecken eines gleichseitigen Dreiecks von der Seite 1 angebracht werden, so stellen für einen beliebigen Farbpunkt die Abstände von den Dreieckseiten die Mengen der drei Systemfarben dar, die zur Herstellung der Quantität 1 der Farbe nötig sind. Haben die Systemfarben die Helligkeiten $h_1 h_2 h_3$, und bezeichnen wir die Abstände von den Seiten mit x, y, z, so ist die Helligkeit eines Punktes

$$h(x y z) = x h_1 + y h_2 + z h_3 .$$

Da nun $z = 1 - x - y$ ist, und man x und y als Koordinaten in einem schiefwinkligen Koordinatensystem deuten kann, so sieht man, daß den Gleichungen $h =$ konst. lauter parallele Gerade entsprechen, deren Abstände, wenn h um gleiche Beträge zunimmt, ebenfalls gleich sind. Hieraus kann man die Linien $h =$ konst. leicht konstruieren, denn da sie für $h = h_1$ bzw. h_2 und h_3 durch die drei Ecken des Dreiecks gehen müssen, so braucht man nur auf der Verbindungslinie der Punkte mit größtem und kleinstem h (es mögen h_1 und h_2 sein) den Teilpunkt aufzusuchen, dem die Helligkeit h_3 zukommt und diesen mit dem 3. Eckpunkt zu verbinden, so hat man die Richtung der Parallelenschar gefunden. Man braucht dann nur zwischen h_1 und h_2 die Teilpunkte mit runden h-Werten aufzusuchen und durch diese die Parallelen zu zeichnen.

Bei der Darstellung im Dreieck der Grundempfindungen liegen nun die drei Instrumentfilterfarben wie oben gezeigt an drei bestimmten Punkten $R_1 G_1 B_1$, die ein ungleichseitiges Dreieck bilden. Auch haben sie im System der Grundempfindungen nicht die Quantität 1, sondern drei verschiedene Quantitäten, deren Berechnung oben erläutert wurde. Durch dieselbe projektive Abbildung, die die Eckpunkte des gleichseitigen Dreiecks Abb. 2 in die des ungleichseitigen Abb. 1 überführt, wird daher auch die parallele Geradenschar $h =$ konst. in eine sich in einem Punkte H schneidende Geradenschar übergeführt. Zur Konstruktion dieser Schar kann man wie folgt verfahren. Wir suchen zunächst den Schnittpunkt H der Schar auf. Da er im Original im Unendlichen liegt, muß er in der Bildebene auf der Fluchtlinie f liegen. Diese Fluchtlinie ist in der Konstruktion des Dreiecksnetzes schon gefunden, sie ist die Verbindungslinie der Schnittpunkte der Netzgeradenscharen. Ganz ähnlich wie bei der Parallelenkonstruktion brauchen wir also nur den Punkt zwischen den Ecken mit den Helligkeiten h_1 und h_2 aufzusuchen, dem die Helligkeit h_3 zukommt, und diesen mit dem 3. Eckpunkt zu verbinden, so liefert der Schnitt dieser Linie mit der Fluchtlinie den gesuchten Schnittpunkt H der Schar. Um den Punkt mit der Helligkeit h_3 zu finden, benutzen wir die schon vorhandene Hilfslinie $G_1 X$ (Abb. 3), auf der zehn gleiche Teile abgetragen worden waren, um mit Hilfe eines Strahlenbündels S_1 die zehn verzerrten Netzabschnitte auf der Dreiecksseite zu finden. Da auf dieser Hilfslinie gleich lange Strecken der Originaldreiecksseite gleichlang abgebildet werden, kann man auf ihr den Punkt h_3 im richtigen Abstandsverhältnis zu den Endpunkten der ganzen zehnteiligen Strecke einzeichnen, also im Verhältnis $\frac{h_2 - h_3}{h_3 - h_1}$. Dieser Punkt wird durch

das Strahlenbündel S_1 auf die Dreiecksseite $G_1 B_1$ projiziert, und der projizierte Punkt kann wie angegeben zur Konstruktion des Schnittpunktes H der Schar $h =$ konst. verwendet werden. Um schließlich die Schar der Geraden $h =$ konst. selbst zu zeichnen, braucht man nur noch die projektiven Bilder der Teilpunkte mit runden h-Werten auf irgendeiner der Dreiecksseiten. Man könnte diese ebenso wie den Punkt h_3 mit Benutzung der Hilfslinie und des schon erwähnten Strahlenbündels S_1 konstruieren. Etwas bequemer ist vielleicht die folgende Konstruktion (Abb. 4). Da auf jeder Parallelen zur Fluchtlinie alle Strecken in ihren richtigen Verhältnissen abgebildet werden, brauchen wir nur irgendeine solche Parallele p zu zeichnen und mit den Strahlen von H nach zwei Dreieckspunkten zum Schnitt zu bringen. Hierdurch sind auf p zwei Punkte bestimmt, denen die Helligkeiten der beiden Dreieckspunkte zukommen. Es braucht nun nur auf p eine reguläre Teilung entworfen zu werden, die an den beiden Punkten die betreffenden Helligkeitswerte annimmt, dann erhält man durch Verbinden der Teilpunkte mit H die gesuchten Geraden $h =$ konst.

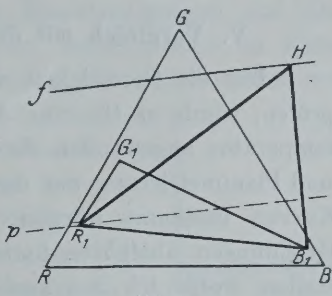
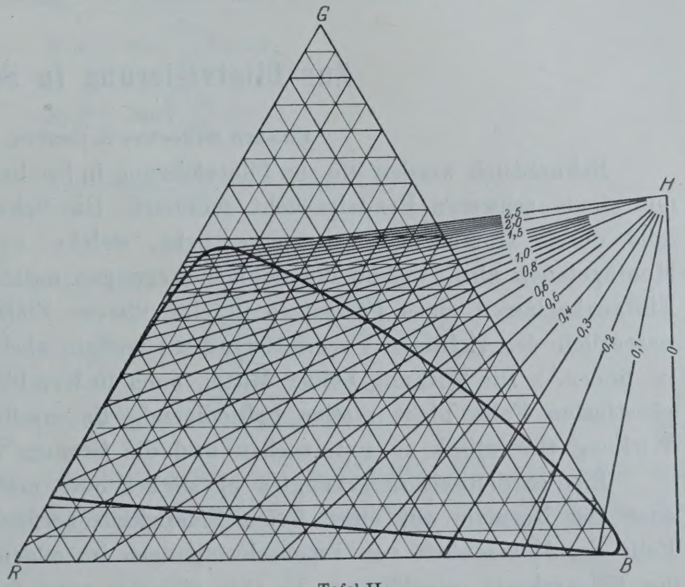


Abb. 4.

Es wird zweckmäßig sein, diese Geradenschar nicht in das Diagramm I mit dem verzerrten Dreiecksnetz hineinzuzeichnen, um die Orientierung darin nicht zu erschweren, sondern in das zur Aufsuchung der Farbkoordinaten bestimmte Maxwellsche Dreieck mit gleichseitigem Netz, wie in Tafel II dargestellt. Mit den parallelen Netzscharen dieses Dreiecks wird man das Strahlenbündel $h =$ konst. kaum verwechseln, und die Ablesung des h-Wertes kann gerade so gut nach der Übertragung in das unverzerrte Dreieck erfolgen.

d) Benutzungsbeispiel zum Diagramm II.

Die Kolorimeterablesungen für die Lichtquelle mit dem zu prüfenden Farbfilter mögen dieselben sein, die im Benutzungsbeispiel des Diagramms I genannt sind, und für die sich dort der Punkt P ergeben hatte. Legt man das Diagramm I so über II, daß die Punkte $R\,G\,B$ aufeinanderfallen und sticht P ein, so findet man im Diagramm II durch Interpolation im H-Strahlenbüschel den Wert 0,83. Da die Summe der Ablesungen 89 betrug, ist die Helligkeit $H_f = 89 \cdot 0{,}83 = 74$ (in der willkürlichen Einheit, in der $h_1\, h_2\, h_3$ gegeben sind).



Tafel II.

Dieselbe Rechnung ist nun für die Lichtquelle ohne Farbfilter auszuführen. Die Kolorimeterablesungen mögen hier 71, 37, 26 betragen. Die Summe ist 134, daher ergibt sich

$$r_e = \frac{71}{134} = 0{,}53 \qquad g_e = \frac{37}{134} = 0{,}276 \qquad b_e = \frac{26}{134} = 0{,}195.$$

Hiernach wird im Diagramm I der Punkt P_1 gefunden und im Diagramm II der Strahl 1,20. Die Helligkeit ist demnach in derselben willkürlichen Einheit wie oben

$$H_e = 134 \cdot 1{,}20 = 161 .$$

Die Durchlässigkeit des Filters berechnet sich als Quotient der Helligkeiten der Lichtquelle mit und ohne Filter, also $D = \frac{H_f}{H_e} = 0{,}46$.

V. Vergleich mit den spektrographisch gewonnenen Farbkoordinaten.

Um die Genauigkeit des Verfahrens für die Ermittlung der Farbkoordinaten zu prüfen, wurde es für eine Anzahl farbiger Gläser und Glühlampen verschiedener Farbtemperatur angewendet, deren Farbkoordinaten auch durch spektrographische Zerlegung und Planimetrierung der durch Multiplikation mit den Königschen Werten gefundenen Kurven bestimmt worden waren. Herr Dr. Schönborn, der diese Messungen und Rechnungen ausführte, hatte die Freundlichkeit mir die Ergebnisse zur Verfügung zu stellen, wofür ich ihm auch an dieser Stelle bestens danke. Es ergab sich bei roten Gläsern eine vorzügliche Übereinstimmung; bei grünen Gläsern, sowie bei den Glühlampen fanden sich kleine aber unerhebliche Abweichungen; am größten waren die Abweichungen bei blauen Gläsern. Es konnte aber festgestellt werden, daß diese Fehler z. T. der Unempfindlichkeit des Spektrographen für das kurzwellige Licht zuzuschreiben sind. Durch Wiederholung der spektralen Zerlegung mit verbesserter Methode konnten die Abweichungen zwischen den spektrographisch und den kolorimetrisch gewonnenen Farbpunkten teilweise um etwa 30% vermindert werden. Es kann daher für die meisten praktischen Zwecke die kolorimetrische Farbmessung in Verbindung mit dem hier angegebenen Diagramm ohne Bedenken angewendet werden, was gegenüber dem spektrographischen und planimetrischen Verfahren eine große Ersparnis an Zeit und Mühe bedeutet.

Zur Pilotvisierung in See.

Von
Eduard Stoecker in Hamburg.

Bekanntlich werden die zur Pilotvisierung in See benutzten Theodoliten cardanisch, mit einem schweren Pendelgewicht, montiert. Die Schwingungen des Pendels werden teils durch Gummizüge heruntergedrückt, welche an den Stativbeinen angreifen, Montageteilen also, welche die Schiffsbewegungen mitmachen, teils werden sie durch Eintauchenlassen eines Fortsatzes in eine viscose Flüssigkeit gedämpft. Es ist sehr wesentlich den richtigen Viscositätsgrad zu treffen, aber zuweilen auch langwierig ihn zu finden.[1]) Die Wirkung beider Mittel, auch in Kombination angewandt, ist auch im günstigsten Falle nicht restlos befriedigend. Es erscheint deshalb angebracht, ihre Wirkung theoretisch zu untersuchen und die Grenzen des Erreichbaren aufzudecken.

Ein cardanisch aufgehängtes physisches oder mathematisches Pendel, gleichwie auch die Normale auf einer freien Flüssigkeitsoberfläche wird im Seegang auch im Falle der Abwesenheit von Eigenschwingungen im allgemeinen nicht mit der Richtung der Schwerkraft coincidieren. Es täte dies nur unter folgenden sehr speziellen Voraussetzungen:

---

[1]) Rossby, Meteorologiska resultat av en sommarseglats runt de Britiska öarna. Meddelanden från Statens Meteorol.-hydrogr. anstalt, Bd. 3, No. 1. Stockholm 1925.

1. Die Kreuzung der Zwieringe befindet sich an einem solchen Ort im Schiff, daß das im Seegang arbeitende Schiff um diesen Punkt als Mittelpunkt schwingt.

2. Die Schiffsbewegungen enthalten nur Winkelbeschleunigungen, keine Translationsbeschleunigungen, d. h. der Drehpunkt ist beschleunigungsfrei. Es wird also z. B. nicht das Schiff als ganzes von einer anrollenden See versetzt.

Diese Voraussetzungen sind aber nie erfüllt; infolgedessen überträgt die Aufhängung dauernd den Schiffsbewegungen entsprechende Beschleunigungen auf das Pendel, welche dieses nicht nur in Schwingungen versetzen, sondern auch im Falle aperiodischer Dämpfung die Ruhelage des Pendels verändern. Wir fixieren dies zur leichteren Klarstellung mathematisch, indem wir festsetzen, daß der Aufhängungspunkt bzw. Kreuzungspunkt der Zwieringe die Koordinaten x_1, y_1, z_1 in einem rechtwinkligen Koordinatensystem habe, dessen aufwärtsgerichtete Z-Achse mit der umgekehrten Richtung der Schwerkraft zusammenfällt. Die beiden anderen Achsen seien zueinander gemäß Abb. 1 geordnet und fest im Raume, nicht etwa im Schiff, orientiert.

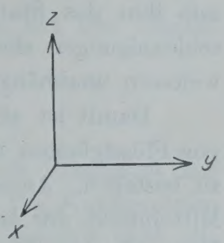


Abb. 1.

Vermöge der Schiffsbewegungen wird, wenn die Zeit mit t bezeichnet wird:

$$x_1 = f(t); \qquad y_1 = g(t); \qquad z_1 = h(t).$$

Wir ersetzen nun das physische Pendel durch ein mathematisches der Länge l. An seinem Ende hänge der Massenpunkt m mit den Koordinaten x_2, y_2, z_2.

Bezeichnen wir die Richtungscosinus mit α, β, γ, so wird

$$x_2 = x_1 + l\cdot\alpha,$$
$$y_2 = y_1 + l\cdot\beta,$$
$$z_2 = z_1 + l\cdot\gamma.$$

Bezeichnen wir noch die Spannung des Pendels mit S, so wird

$$S\cdot\alpha + m\cdot\frac{d^2 x_2}{dt^2} = 0,$$

$$S\cdot\beta + m\cdot\frac{d^2 y_2}{dt^2} = 0,$$

$$S\cdot\gamma + m\cdot\frac{d^2 z_2}{dt^2} = -g\,m,$$

oder

$$\frac{S}{m}\cdot\alpha + f''(t) + l\cdot\frac{d^2\alpha}{dt^2} = 0,$$
$$\frac{S}{m}\cdot\beta + g''(t) + l\cdot\frac{d^2\beta}{dt^2} = 0,$$
$$\frac{S}{m}\cdot\gamma + h''(t) + l\cdot\frac{d^2\gamma}{dt^2} = -g.$$

Das für die Richtigkeit der Visierungen nun notwendige Verlangen, daß das Pendel ruhig im Raume hängen bleibt, drückt sich analytisch aus durch die Bedingungen

$$\alpha = 0; \qquad \beta = 0; \qquad \gamma = -1.$$

Dadurch werden von den drei Bewegungsgleichungen die beiden ersten unerfüllbar, die dritte wird

$$-\frac{S}{m} + h''(t) = -g.$$

Die beiden ersten Gleichungen können nur dadurch erfüllt werden, daß wir an der Masse m die gleichen Beschleunigungskomponenten angreifen lassen wie am Aufhängungspunkt, nämlich $f''(t)$ und $g''(t)$.

Die Frage ist nun, wie weit die Gummizüge und Dämpfungsflüssigkeiten diesem Ideal nahekommen. Da die Stativbeine dem Stativkopf sehr ähnliche Bewegungen vollführen, steht allerdings zu erwarten, daß die Gummizüge von ihnen aus auch Beschleunigungen übertragen, welche f'' und g'' bis zu einem gewissen Grade nahekommen. Jeder Versuch aber, eine Coincidenz zu erzielen, muß aus dem sehr durchsichtigen Grunde scheitern, weil der Aufhängepunkt nur drei Freiheitsgrade hat, das Schiff und mit ihm das Stativ aber deren sechs. Die durch die Gummizüge ausgeübten Beschleunigungen sind also nicht nur Funktionen von f'' und g'', sondern noch von drei weiteren unabhängigen Argumenten.

Damit ist aber derselbe Kardinaleinwand berührt, welcher auch der Verwendung von Flüssigkeiten nur bescheidene Erfolge beläßt. Zwar scheint hier noch ein Ausweg zu bestehen. Angenommen, die Flüssigkeit sei in einer Kugelkalotte enthalten, deren Mittelpunkt der Aufhängepunkt des Pendels ist. Die Kugelkalotte stellt sich in diesem Falle als dieselbe Zwangsbedingung dar wie die eines zweiten sphärischen Pendels. Die beiden Pendel sind etwas verschieden lang und in stark energieverzehrender Weise gekoppelt, so daß sie keine Eigenschwingungen, sondern nur aperiodische Bewegungen gegeneinander ausführen können. Für das erste Pendel wirkt dies wie eine eigene Dämpfung. Dies ist die beruhigende Wirkung, derenthalben die Flüssigkeitsdämpfung angewendet wird.[1]) Nun bezieht sich diese Dämpfung aber nicht auf das im Raume feststehende Koordinatensystem, dessen Z-Achse mit der Richtung der Schwerkraft coincidiert, sondern auf ein dagegen verdrehtes Ξ, H, Z-System, dessen Z-Achse mit der umgekehrten Richtung einer Beschleunigung coincidiert, welche im XYZ-System die Komponenten hat

$$-f''(t),$$
$$-g''(t),$$
$$-h''(t)-g.$$

Nun erfährt das gedachte zweite Pendel noch durch Flüssigkeitsreibung der Gefäßwand Beschleunigungen. Die durch den **Druck** der Gefäßwand übermittelten Beschleunigungen hatten wir durch Fiktion der Spannung einer zweiten Pendelstange gedanklich ersetzen können; die **Reibung** hingegen bringt zwei Beschleunigungskomponenten hinein, welche zwei anderen Freiheitsgraden des Schiffes angehören. Sie sind nämlich proportional den jeweiligen Winkelgeschwindigkeiten der Stampf- und der Schlingerbewegung. Nun gehen zwar Stampfen und Schlingern auch in $f(t)$, $g(t)$ und $h(t)$ ein, aber nur zusammen mit den gleichzeitigen Translationsbewegungen. Man kann im allgemeinen also nicht erwarten, durch die Flüssigkeitsreibung die Komponenten $-f''(t)$ und $-g''(t)$ kompensieren und das ΞHZ-System auf XYZ zurückdrehen zu können.

Auch für einen weiteren Gedanken gilt das gleiche, zu dem die Betrachtung der Schlingertanks anregt. Die Füllung von Schlingertanks vollführt Schwingungen, welche

[1]) Wie mir Herr Dr. Georgi auf der Meteorolog. Versuchsanstalt der Deutschen Seewarte liebenswürdigerweise mitteilte, ist eine nach diesem Grundgedanken wirkende Konstruktion, bei welcher das „flüssige Pendel“ wirklich auch durch ein zweites festes ersetzt ist, von ihm ausgeführt worden, und eine zweite Konstruktion eines in einem Flüssigkeitspendel schwingenden zweiten Pendels bei dem holländischen Meteorolog. Institut De Bilt.

mit den erregenden Schiffsbewegungen nicht in Phase sind. Wenn wir letztere proportional $\cos pt$ annehmen könnten und die Eigenschwingungen der Füllung proportional $\cos mt$, so ist die Größe der Phasenverschiebung Φ gegeben durch

$$\operatorname{tang} \Phi = \frac{k \cdot p}{m^2 - p^2},$$

wo k die Reibung bezeichnet. Durch sorgfältige Abstimmung von m auf p läßt sich Φ einem rechten Winkel beliebig annähern. Dadurch werden die Tankschwingungen proportional

$$\sin pt$$

und die Strömungsgeschwindigkeit wiederum dem $\cos pt$, konform mit den Schiffsbewegungen, welche in diesem Falle als

$$h(t) = E \cdot \cos pt$$
$$g(t) = 0$$

anzunehmen waren. Es besteht also die Möglichkeit die strömende Flüssigkeit auf das eintauchende Pendel Kräfte ausüben zu lassen, welche, solange die Konfiguration innerhalb des Gültigkeitsbereiches des linearen Widerstandsgesetzes gewählt wird, die Kraft

$$-m h''(t) = + m p^2 E \cos pt$$

kompensieren. Dies enthält aber alles wieder die Bedingung, daß kein weiterer Freiheitsgrad in den Schiffsbewegungen auftritt.

Damit scheinen also allen Versuchen einen Theodoliten im Seegang durch die Schwerkraft zu richten prinzipielle Grenzen gezogen, dieselben Grenzen übrigens, welche auch verhindern, zur Orientierung von photogrammetrischen Aufnahmen aus Luftfahrzeugen durch die Schwere gerichtete Neigungs- und Kantungsmesser zu verwenden. Man ist hier auf rein geometrisch-optische Methoden angewiesen. Und dies ist man letzten Endes auch bei den Pilotvisierungen in See, wenn anders man nicht eine überaus kostspielige Kreiselkonstruktion versuchen wollte.

Die empirische Einsicht, daß dem so ist, hat nun schon dazu geführt, vor das Fernrohrobjektiv des Theodoliten einen Sextanten zu setzen. Dadurch wird der Höhenwinkel jedenfalls richtig, wenn man dies Instrument so handhabt wie auch sonst einen Sextanten bei Höhenmessungen, d. h. die auf Kreisbögen pendelnden Ziele die Kimm berühren läßt. Im Azimuth macht sich ferner eine geringe Verkantung des Horizontalkreises bekanntlich erst durch ein quadratisches Glied bemerklich.

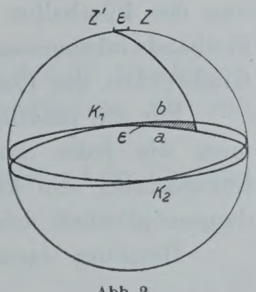


Abb. 2.

Es sei gemäß Abb. 2 der Horizontalkris um den kleinen Winkel ε gegen den Horizont verkantet. Beide Kreise schneiden sich in Knotenpunkten $K_1 K_2$. Statt des richtigen Azimuts a liest man also b ab.

Es ist

$$\operatorname{tang} b = \cos \varepsilon \cdot \operatorname{tang} a$$

oder, wenn

$$\cos \varepsilon = 1 - \frac{\varepsilon^2}{2},$$

$$a - b = \Delta \alpha,$$

$$\Delta \alpha = \left(\frac{\varepsilon}{2}\right)^2 \cdot \sin 2a.$$

Daß der Azimutalfehler viertelkreisig sein muß, liegt übrigens auf der Hand, wenn man bedenkt, daß die Azimute nicht nur in der Knotenlinie, sondern auch senkrecht darauf durch die Verkantung ungeändert bleiben müssen.

Die Azimutalablesungen dienen nun, anders als auf dem festen Land, nur dazu, eine Peilung des Piloten auf den Kompaß zu übertragen. Letzten Endes ist die Sache so, als ob der Pilot über den Kompaß gepeilt und gleichzeitig mit dem Sextant „geschossen" würde. Der Theodolit ist also im Grunde genommen ganz überflüssig und stellt nur eine apparative Komplizierung dar, und es drängt sich die Frage auf, ob man ihn nicht vorteilhaft ganz ausschalten kann, indem man das übliche Diopterlineal des Peilkompasses gegen ein Fernrohr mit Sextant bzw. etwa einen Pulfrich-Freihandwinkelmesser auswechselt.

In Fortentwicklung dieses Vorschlages scheint mir ein konstruktiver Vorteil sich noch zu bieten in der Anwendung eines Prinzips, welches ich schon früher zur Konstruktion eines Freihandpeilkompasses niedergelegt habe.[1])

Die Anpassung dieses Prinzips für den vorliegenden Zweck würde etwa folgendermaßen aussehen: (Abb. 3)

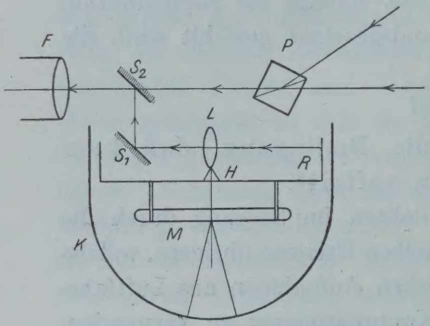


Abb. 3.

Im Kompaßkessel K befindet sich eine Rose R, deren Gradteilung auf die Innenwand eines niederen Zylinders aufgetragen ist, im übrigen in üblicher Weise mit angehängten Magneten M versehen und Hütchen H auf einer Pinne gelagert. Über H befindet sich der vordere Knotenpunkt einer Linse L (bzw. Linsensystems), deren Brennweite dem Rosenradius gleichkommt. Durch die beiden Spiegelflächen S_1 und S_2 sieht man also durch ein Fernrohr F mit auf Unendlich akkomodiertem Auge innerhalb eines gewissen Gesichtsfeldes ein Stück Rosenteilung mit der Kimm sich überdeckend, indem S_2 halbdurchlässig ist; $L\,S_1\,S_2\,F$ sind in einen nicht mitgezeichneten auf dem Kessel drehbaren Deckel eingebaut zu denken. Bei Drehungen verschiebt sich natürlich nur das Gesichtsfeld, nicht die Coincidenz von Rosenteilung und Kimm. Auf die Kimm wird nun der Pilotballon durch das totalreflektierende Doppelprisma P des Pulfrich-Freihandwinkelmessers heruntergeholt und wird dabei vom Beobachter zwischen den Gradstrichen des Rosenbildes schwebend erblickt.

Für die praktische Anwendung ist natürlich noch zu bedenken, daß dies Instrument wie jeder Schiffskompaß kompensiert werden muß und infolgedessen nicht transportabel sein kann. Daraus sich etwa ergebende Einschränkungen der Verwendungsmöglichkeit müssen von Fall zu Fall beurteilt werden.

Hamburg, Januar 1928.

Ersatzschaltung für die Rückwirkung der Zunge des Resonanztelephons.

Von
Fritz Bergtold in München.

Vorbemerkungen.

Das vorliegender Arbeit zugrunde gelegte Resonanztelephon besteht aus einer Zunge, die von einem polarisierten Magnetsystem erregt wird. Die vom Wechselstrom durchflossenen Spulen des Magnetsystems sind mit einem Kondensator in Reihe ge-

[1]) D.R.P. No. 374873.

schaltet, wobei die elektrische Abstimmung angenähert der Zungenresonanz entspricht. Um die Vorgänge in einem derartigen Resonanztelephon studieren zu können, ist es zweckmäßig, wenn die Federschwingungen — bezüglich ihrer Auswirkung auf den elektrischen Teil des Telephons — in elektrische Größen umgerechnet werden. Eine solche Ersatzschaltung ist in einer Arbeit von Hahnemann und Hecht[1]) enthalten. Mit dieser in Abb. 1 gezeigten Anordnung erscheint es nicht möglich, das tatsächliche Verhalten des Resonanztelephons restlos klarzulegen. Deshalb wird an dieser Stelle auf eine andere Ersatzschaltung hingewiesen.

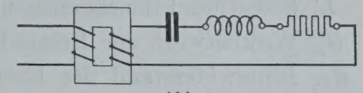


Abb. 1.

Annahmen.

Den nachstehenden Ableitungen sind folgende Annahmen zugrunde gelegt:

1. Die Masse der Zunge sei auf einen Punkt konzentriert.

2. Die die Zunge bewegende Kraft sei in jedem Augenblick genau proportional dem in den Telephonspulen fließenden Strom.

3. Die Richtkraft der Zunge sei genau proportional ihrer Entfernung aus der Ruhelage.

4. Die Masse der Zunge sei klein gegenüber der Masse des übrigen Teiles vom Telephon.

5. Das Dämpfungsglied sei proportional der Geschwindigkeit der Zunge.

Die erste Annahme ist für ein Zungentelephon rein formal und bedingt hier nur eine zahlenmäßige Umrechnung bei der Auswertung, wogegen eine Membrane nur sehr näherungsweise durch einen solchen Massenpunkt zu ersetzen ist.

Die zweite und dritte Annahme sind notwendig und zulässig bei der prinzipiellen Betrachtung der Erscheinungen. Diese Annahmen haben zur Folge, daß die Grundschwingung der Zunge allein in die Rechnung eingeht. Beim Resonanztelephon interessiert ja ausschließlich die Grundschwingung.

Die Annahme 4 enthält eine Vernachlässigung, die sich — auf das Dämpfungsglied — um so mehr auswirkt, je größer das Verhältnis:

$$\frac{\text{schwingende Masse der Zunge}}{\text{Masse des übrigen Telephons}}$$

ist. In der Regel hat dieses Verhältnis einen sehr kleinen Wert, so daß die Annahme 4 meist keine nennenswerte Abweichung von den tatsächlichen Verhältnissen mit sich bringt.

Die Annahme 5 dürfte ebenfalls mit der Wirklichkeit annähernd in Einklang stehen.

Bezeichnungen.

m ideelle Zungenmasse,

x jeweilige Entfernung von m aus der Ruhelage,

t Zeit,

r Reibungskraft für $\frac{dx}{dt} = 1$,

c Richtkraft der Zunge für $x = 1$,

k_t Augenblickswert der erregenden Kraft,

c_1 Proportionalitätskonstante zwischen erregendem Strom und erregender Kraft,

---

[1]) *Physikal. Zeitschr.* **20.** *S. 104 u. 245. 1919.*

I_t Augenblickswert des erregenden Stromes,
E_t Augenblickswert der durch die schwingende Zunge induzierten elektromotorischen Kraft,
C' Kapazität der Ersatz-Parallelschaltung,
L' Selbstinduktionskoeffizient der Ersatz-Parallelschaltung,
G'_w Wirkleitwert der Ersatz-Parallelschaltung,
R_{B_1} Blindwiderstand der Ersatz-Reihenschaltung,
R_{w_1} Wirkwiderstand der Ersatz-Reihenschaltung,
C Vorkapazität,
L Spulen-Selbstinduktionskoeffizient für ruhende Zunge,
R_w Wirkwiderstand des Telephons für ruhende Zunge,
R_g Gesamtwiderstand der ganzen Anordnung,
ω Kreisfrequenz,
U Gesamtspannung.

Durch einen wagerechten Strich werden die Höchstwerte gekennzeichnet (z. B. Höchstwerte des Stromes I gleich $\overline{I}$).

Gleichungen für die schwingende Zunge.

Für die Zunge gilt die nachstehende, bekannte Differentialgleichung:

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + r \cdot \frac{dx}{dt} + c \cdot x = k_t \tag{1}$$

Darin ist:

$$k_t = c_1 \cdot I_t \tag{2}$$

Mit 2) wird aus 1):

$$m \cdot \frac{d^2 x}{dt^2} + r \cdot \frac{dx}{dt} + c \cdot x = c_1 \cdot I_t. \tag{3}$$

Nach dem Energiegesetz ist in jedem Augenblick die durch die Kraft k_t geleistete Arbeit gleich der der Zunge zugeführten elektrischen Arbeit:

$$k_t \cdot \frac{dx}{dt} \cdot dt = E_t \cdot I_t \cdot dt,$$

oder:

$$k_t \cdot \frac{dx}{dt} = E_t \cdot I_t,$$

bzw. mit 2):

$$c_1 \cdot I_t \cdot \frac{dx}{dt} = E_t \cdot I_t. \tag{4}$$

Daraus erhalten wir folgende Beziehungen zwischen x und E_t:

$$\frac{dx}{dt} = \frac{E_t}{c_1}, \tag{5}$$

$$\frac{d^2 x}{dt^2} = \frac{dE_t}{dt} \cdot \frac{1}{c_1}, \tag{6}$$

$$x = \frac{1}{c_1} \cdot \int E_t \cdot dt. \tag{7}$$

Diese Werte in 3) eingesetzt ergeben:

$$\frac{m}{c_1^{\,2}} \cdot \frac{dE_t}{dt} + \frac{r}{c_1^{\,2}} \cdot E_t + \frac{c}{c_1^{\,2}} \cdot \int E_t \cdot dt = I. \tag{8}$$

Das ist aber die Gleichung für drei nebeneinander an der gemeinsamen Spannung E_t liegenden Stromzweige. Die Differentialgleichung der zugehörigen Schaltung (Abb. 2) lautet — elektrotechnisch angeschrieben:

$$C' \cdot \frac{dE_t}{dt} + G'_w \cdot E_t + \frac{1}{L'} \cdot \int E_t \cdot dt = I \qquad 9)$$

Vergleicht man 8) und 9), so ergibt sich:

$$\left. \begin{aligned} C' &= \frac{m}{c_1^2} \\ G'_w &= \frac{r}{c_1^2} \\ L' &= \frac{c_1^2}{c} \end{aligned} \right\} \qquad 10)$$

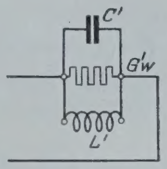


Abb. 2.

Gleichungen für den Dauerzustand der ganzen Anordnung.

Um das Verhalten der Gesamtanordnung (Abb. 3) bequem betrachten zu können, formen wir die Zungen-Ersatzzweige rechnerisch in eine Reihenschaltung von Wirk- und Blindwiderstand um (Abb. 4). Das geschieht mit Hilfe der Abb. 5. Wegen der Ähnlichkeit zwischen Strom- und Spannungsdreieck ist unter Berücksichtigung der Beziehung

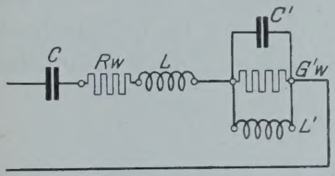


Abb. 3.

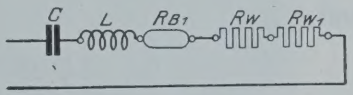


Abb. 4.

$$\text{Gesamtleitfähigkeit} = \frac{1}{\text{Gesamtwiderstand}}:$$

$$R_{w_1} = \frac{G'_w}{G'^2_w + \left(\frac{1}{\omega \cdot L'} - \omega \cdot C'\right)^2}, \qquad 11)$$

$$R_{B_1} = \frac{\frac{1}{\omega \cdot L'} - \omega \cdot C'}{G'^2_w + \left(\frac{1}{\omega \cdot L'} - \omega \cdot C'\right)^2}. \qquad 12)$$

Der Widerstand der Gesamtanordnung ergibt sich hiermit zu:

$$R_g = \sqrt{(R_w + R_{w_1})^2 + \left(\omega \cdot L - \frac{1}{\omega \cdot C} + R_{B_1}\right)^2}. \qquad 13)$$

Die Stromaufnahme ist:

$$I = \frac{U}{R_g}. \qquad 14)$$

Die aufgenommene Wirkleistung beträgt:

$$I^2 \cdot (R_w + R_{w_1}) = U^2 \cdot \frac{R_w + R_{w_1}}{R_g^2}. \qquad 15)$$

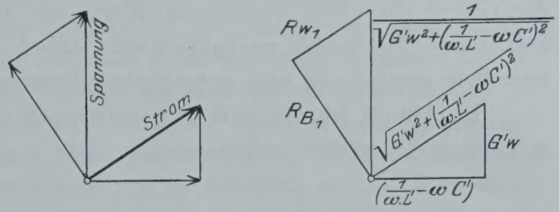


Abb. 5.

Der elektrische Wirkungsgrad ist gegeben durch:

$$\eta = \frac{R_{w_1}}{R_w + R_{w_1}}. \qquad 16)$$

Verwertung der Gleichungen.

Die entsprechend Abb. 6 gemessene Stromaufnahme eines Telephons ist für festgeklemmte bzw. schwingende Zunge durch Abb. 7 gezeigt. Die zur Rechnung notwendigen Konstanten der Schaltung ergeben sich hieraus wie folgt: Die Spulenselbstinduktion steht bei 600 Hertz mit 1 μF in Resonanz. Also:

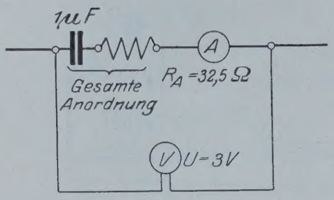


Abb. 6.

$$L = \frac{10^6}{(2 \cdot 3{,}14 \cdot 600)^2 \cdot 1} = 0{,}071 \text{ Henry.}$$

Der Wirkwiderstand des Telephons beträgt bei festgehaltener Zunge:

$$R_w = \frac{U}{I} - R_A = \frac{3}{0{,}0245} - 32{,}5 = 89{,}5\ \Omega\,.$$

Der Wirkleitwert der Ersatz-Parallelschaltung bestimmt sich aus:

$$\frac{1}{G'_w} = \frac{U}{I} - R_w - R_A = \frac{3}{0{,}009} - 122 = 211\ \Omega$$

zu:

$$G'_w = 0{,}00474\ \Omega^{-1}\,.$$

Die Größe der Resonanz-Blindleitwerte G'_B erhält man mit hinreichender Genauigkeit aus nachstehendem Ansatz: Abb. 7 zeigt, daß der Gesamtleitwert G der Ersatzschaltung für 603 Hertz doppelt so groß ist, als für die Resonanzfrequenz von 600 Hertz. Es ist somit:

$$G_{603}^2 = (2 \cdot G'_w)^2 = G'^2_w + G'^2_B \left(\frac{603}{600} - \frac{600}{603}\right)^2$$

$$G'_B = \sqrt{0{,}47} = 0{,}685\,.$$

Hieraus ergeben sich:

$$C' = \frac{10^6 \cdot G'_B}{\omega} = 184\ \mu\ \text{F},$$

$$L' = 0{,}00039 \text{ Henry.}$$

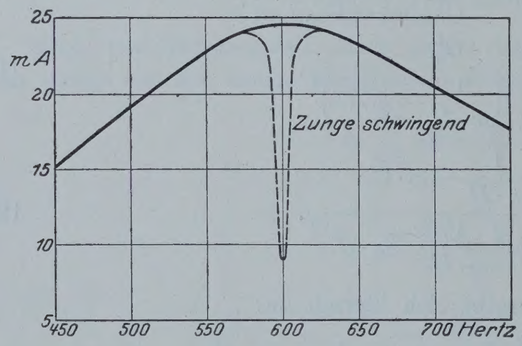


Abb. 7.

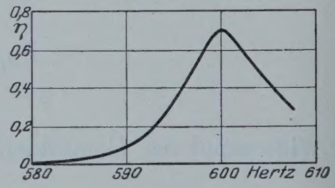


Abb. 8.

Auf Grund der eben bestimmten Werte für die Konstanten wurden die in Abb. 7 aufgetragenen Meßwerte nachgerechnet, wobei sich eine vollständige Übereinstimmung zwischen gemessener und gerechneter Stromaufnahme ergab.

In Abb. 8 ist der mit 15) gerechnete elektrische Wirkungsgrad des als Beispiel gewählten Telephons aufgetragen.

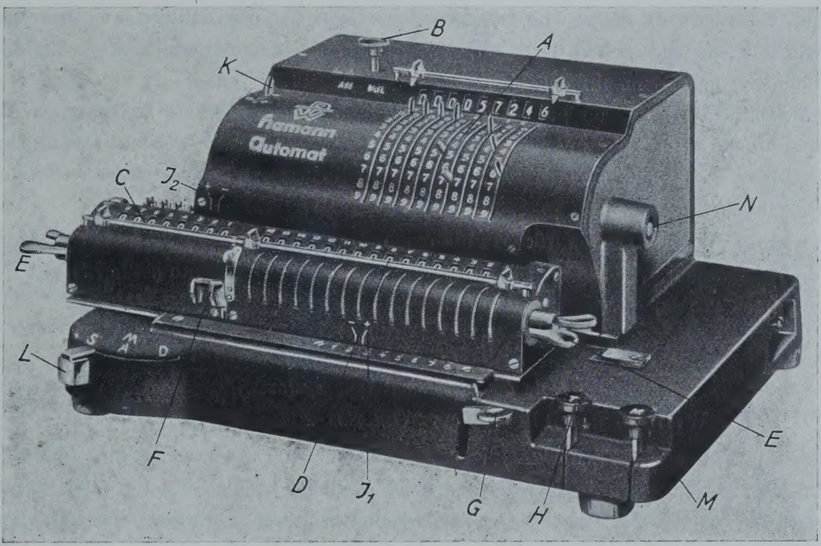
Referate.

Die Rechenmaschine „Hamann-Automat".

An Hand der Maschine.

Die Deutsche Telephonwerke und Kabelindustrie Aktiengesellschaft, Berlin, bringt jetzt neben der „Hamann-Manus"-Rechenmaschine mit Handantrieb[1]) auch eine für elektrischen Antrieb eingerichtete, ebenfalls von Chr. Hamann gebaute und als „Hamann-Automat" bezeichnete Rechenmaschine in den Handel. Die Maschine ist für Addieren, Subtrahieren, Multiplizieren und Dividieren verwendbar und arbeitet beim Dividieren vollständig selbsttätig. Die neue Maschine stimmt im Grundgedanken mit der „Hamann-Manus"-Maschine überein; sie weist aber dieser gegenüber verschiedene Vorteile auf.

Das Einstellwerk *A* hat Hebeleinstellung und einen Druckknopf *B* als Löschvorrichtung. Das Umdrehungszählwerk *C* ist mit durchgehender Zehnerübertragung versehen. In dem Resultat-



werk *D* kann beim Subtrahieren der Minuend und beim Dividieren der Dividend unmittelbar mit Hilfe von gezahnten Scheiben ziffernweise eingestellt werden. Die Löschnng des Zählwerkes und des Resultatwerkes erfolgt entweder gemeinsam oder getrennt mittels der Flügelschrauben *E*. Der das Zählwerk *C* und das Resultatwerk *D* enthaltende Schlitten kann nach Andrücken des Hebels *F* um beliebig viele Stellen nach beiden Seiten, mit Hilfe des Drückers *G* um je eine Stelle nach rechts und mit der „T"-Taste *H* um je eine Stelle nach links verschoben werden. Diejenige Stelle des Zählwerks *C*, in der jeweils gerechnet wird, wird durch die beiden Markenpaare J_1 und J_2 angegeben.

Der auf das Einstellwerk *A* wirkende Druckknopf *B* ist mit einem Pfeil versehen. Zeigt der Pfeil nach links auf „Add", so wird beim Antrieb der Maschine die im Einstellwerk eingestellte Zahl nach ihrer Übertragung in das Resultatwerk *D* selbsttätig gelöscht; dies ist nicht der Fall, d. h. die eingestellte Zahl bleibt stehen, wenn der Pfeil nach rechts auf „Mult" eingestellt ist. Der Hebel *K* wirkt auf das Zählwerk *C*; er muß beim Addieren und Multiplizieren nach vorne auf „+" und beim Subtrahieren und Dividieren nach hinten auf „−" stehen. Die Einstellung der jeweiligen Rechnungsart für das Resultatwerk geschieht mit Hilfe des Schiebers *L*, der für Addieren und Multiplizieren auf „*A*" bzw. „*M*", für Subtrahieren auf „*S*" und für Dividieren auf „*D*" zu stellen ist.

Der Antrieb der Maschine erfolgt beim Addieren, Subtrahieren und Multiplizieren durch Andrücken der auf den Motor wirkenden, mit „*M*" bezeichneten Taste *M*; beim Dividieren wird nach

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **46.** *S. 596. 1926.*

Einstellung des Dividenden im Resultatwerk D und des Divisors im Einstellwerk A der Motor durch Andrücken des Schlittens nach rechts ausgelöst. Beim Versagen des elektrischen Stromes kann die Maschine auch von Hand angetrieben werden; für diesen Zweck wird eine Kurbel auf die Achse N aufgesetzt.

Da mit Hilfe des Drückers G und der Taste H der Schlitten je um eine Stelle entweder nach rechts oder nach links bewegt werden kann, so kann man beim Multiplizieren nach Einstellung des Multiplikanden im Werk A die einzelnen Ziffern des Multiplikators bei entsprechender Stellung des Schlittens entweder von rechts oder von links der Reihe nach durch Andrücken der Taste M in das Zählwerk C übertragen. Kommt es beim Multiplizieren vor, daß man zu lange auf die Motortaste gedrückt und so mit einer zu großen Zahl multipliziert hat, so erfolgt die Verbesserung in einfacher Weise durch Umstellen des Schiebers L auf „S“ und entsprechendes Andrücken der Motortaste. Während beim Multiplizieren der Schlitten mittels des Drückers G bzw. der Taste H verschoben werden muß, erfolgt beim Dividieren die Schlittenverschiebung durchaus selbsttätig.

Wie die „Hamann-Manus“-Maschine ist auch die neue Maschine mit verschiedenen Sperrvorrichtungen versehen; so wirken die Löschvorrichtungen für das Zählwerk C und das Resultatwerk D sowie die Einstellscheiben des Resultatwerkes nur in der Ruhestellung des Schlittens, d. h. wenn der Schlitten ganz nach links gestellt ist.

Die Maschine ist bei ihren geringen Abmessungen sehr handlich; ihre einzelnen Teile sind bequem angeordnet, so daß sie mit der linken Hand allein bedient werden kann. Da auch der Preis der Maschine — er beträgt 1180 RM. — nicht zu hoch ist, so wird die neue Rechenmaschine sicher viele Liebhaber finden.

Bemerkt sei noch, daß die für Handantrieb eingerichtete „Hamann-Manus“-Maschine verschiedene Verbesserungen erfahren hat; ich erwähne nur einen Hebel zum stellenweisen Fortbewegen des Schlittens nach rechts, insbesondere von der Ruhestellung zur Arbeitsstellung. *P. W.*

Über asphärische Linsensysteme.

(*Note on aspherical lens systems.*)

Von Willard J. Fisher. *Journ. Opt. Soc. Amer.* **13.** *S. 290. 1926.*

In der Abhandlung gleichen Titels von L. Silberstein, über welche in *dieser Zeitschr.* **46** *S. 436—437. 1926* berichtet wurde, wird festgestellt, daß die hintere Fläche einer einfachen Linse deren Vorderfläche eine kartesische Fläche ist, bei Beibehaltung der durch diese bewirkten sphärischen Korrektion nur eine sphärische Fläche sein kann, deren Mittelpunkt mit dem Brennpunkt der ersten Fläche zusammenfällt. Verf. weist darauf hin, daß ebensogut als hintere Linsenfläche eine solche brauchbar ist, deren einer aplanatischer Punkt in den Brennpunkt der ersten Fläche fällt.

Flügge.

Prüfungsverfahren eines nicht sphärischen Hohlspiegels.

(Procédé d'examen d'un miroir concave non sphérique.)

Von A. Couder. *Revue d'Opt.* **6.** *S. 49—55. 1927.*

Nach der bekannten Foucaultschen Messerschneidenmethode wird das in der Nähe des Krümmungsmittelpunktes des Spiegels entworfene Bild einer punktförmigen Lichtquelle untersucht. Die beobachtete Aberration stimmt mit der rechnerisch vorausbestimmten Aberration überein. Deshalb wird in das reflektierte Lichtbüschel in der Nähe des Bildes ein Linsensystem eingeschaltet, dessen sphärische Aberration gerade so bestimmt ist, daß die Aberration des Spiegels aufgehoben wird. Wenn der Spiegel nun retuschiert wird, muß das Bild in bekannter Weise mit Aberration behaftet werden. *Flügge.*

Kontrolle von Parabolspiegeln nach der Hartmannschen Methode.

(Contrôle des miroirs paraboliques par la méthode de Hartmann.)

Von M. Romanoff. *Revue d'Optique* **5.** *S. 341—362. 1926.*

Nach der Hartmannschen Methode wird die sphärische Aberration entlang der Achse a Parabolspiegeln bestimmt, wobei die Lichtquelle in endlichem Abstand befindlich ist. Aus den hierfür erhaltenen Daten wird die sphärische Aberration für ein parallel einfallendes Lichtbündel durc

Umrechung erhalten. Sodann wurde daraus die Abweichung zwischen dem vorliegenden Spiegel und einem speziellen „angenähertsten“ Paraboloid abgeleitet. Letzteres ist dadurch ausgezeichnet, daß die maximale Abweichung des Spiegels von ihm gerade zwischen zwei ebenso großen, aber entgegengesetzten Minimalabweichungen liegt, oder umgekehrt. Die Bildqualität, genauer seine zentrale Intensität, wurde durch das Amplitudenmaximum der Abweichungskurve charakterisiert. Stellt man diese Abweichungskurve in Funktion der Zonenradien dar, so bietet sich ein Mittel zur schnellen Korrektion der Spiegel. *Flügge.*

A Comparator-Mikrophotometer.

Von George R. Harrison. *Journ. Opt. Soc. Amer.* ***16.*** *S. 63—67. 1928.*

Verfasser beschreibt eine Einrichtung zur Intensitätsmessung von Schwärzungen photographischer Platten mittels Thermoelement, die gleichzeitig als Komparator verwendet werden kann. Bei der Intensitätsmessung wird die auszuwertende Platte dicht an einem beleuchteten Spalt ($3 \times 0{,}008$ mm) vorbeigezogen und das Spaltbild in vierfacher Vergrößerung auf ein Vakuum-Thermoelement von Moll und Burger abgebildet. Die Thermoströme werden mit einem empfindlichen Galvanometer von Leeds und Northrup gemessen. Nach Entfernung des Spaltes und Ersatz des Thermoelements durch ein Okular (ca. 20 fache Vergrößerung) kann die Einrichtung als Komparator benutzt werden. Die Ganghöhe der Spindel beträgt 1 mm und es kann eine Verschiebung von 0,001 mm gemessen werden. *Sp.*

A Polarization Photometer Eypiece.

Von F. E. Wright. *Journ. Opt. Soc. Am.* ***14.*** *S. 339. 1927.*

Das Instrument dient im Geophysikalischen Institut zu Washington als Okular für astronomische Fernrohre, um unter direkter Anvisierung z. B. von Teilen der Mondoberfläche (also nicht an einem Photometerfeld) Polarisationsgrad und Polarisationsazimuth der anvisierten Stelle zu bestimmen.

Die negative Linie L_1 und die positive Linie L_2 (150 mm Brennweite) sind auf ein Wollastonprisma aufgekittet. A und B sind zwei Biprismen, P ein Glan-Thompson-Prisma und C die Okularlinse.

Nach Passieren des Wollastonprisma W — L_1 und L_2 bewirken, daß W im parallelen Strahlengang passiert wird — werden die beiden Bilder, die der ordentliche und der außerordentliche Strahl liefern, durch die Biprismen A und B weiter getrennt; durch Veränderung der Entfernung von A und B kann der Abstand der Bilder geändert werden.

Die beträchtliche chromatische Aberration durch das Wollastonprisma kann durch entsprechende Wahl der Glassorte und der Winkel der Biprismen A und B auf ein erträgliches Maß herabgemindert werden.

Die Einstellung erfolgt durch Drehen des Prisma P.

Hergestellt ist das Prisma von der Firma Bausch & Lomb in Rochester, N. Y. *Dz.*

Erprobung einiger einfacher Vorrichtungen zur Erkennung von Inhomogenitäten in optischem Glase.

(Étude de quelques dispositifs simples pour la mise en évidence des défauts d'homogénéité dans le verre d'optique.)

Von A. Arnulf. *Rev. d'Opt.* ***6.*** *S. 1—20. 1927.*

Die Inhomogenitäten in optischem Glase können in zwei Gruppen eingeteilt werden. Die eine umfaßt die Fehler geringer Ausdehnung, vertreten durch die fadenförmigen Schlieren, die wenig schaden und leicht erkennbar sind. Die andere Gruppe besteht in den langsamen Brechungsindexänderungen in der Glasmasse, deren Einfluß auf die Abbildungsgüte häufig schädlich ist, und die sehr schwer nachweisbar sind.

Es werden zur Erkennung der Inhomogenitäten vier Methoden beschrieben.

1. Eine interferentielle Methode bedient sich der Interferenzstreifen gleicher Dicke, indem auf die planparallel geschliffene Glasprobe senkrecht Licht bestimmter Wellenlänge auffällt, welches zum Teil an der Eintrittsfläche, zum Teil an der Austrittsfläche reflektiert wird. Beide reflektierten Lichtbündel interferieren miteinander nach Maßgabe des durch die Glasdicke bedingten Gangunterschiedes. Da nun die reduzierte Glasdicke allein von Einfluß ist, so muß der Interferenzzustand an den Stellen ein anderer sein, wo im Glase Gebiete veränderten Brechungsindex vorkommen. Diese Methode ist besonders gut brauchbar zur Erkennung der langsamen Brechungsindexänderungen, für die gewöhnliche Schlierenerkennung sind bereits bessere Methoden erprobt. Allerdings bietet die interferentielle Methode nicht geringe experimentelle Schwierigkeiten.

2. Projektionsmethode: Auf die zu untersuchende Probe wird ein wohldefiniertes Lichtbündel geschickt und auf einer Mattscheibe nach dem Durchtritt durch die Probe aufgefangen. Die Empfindlichkeit dieser Methode steigert sich mit der Entfernung der Mattscheibe von der Probe. Eine stereoskopische Anordnung gestattet die gleichzeitige Lokalisierung der Schlieren bei der Beobachtung. Die beschriebene Methode ist für Schlieren sehr empfindlich, und für die langsamen Brechungsindexänderungen von gleicher Brauchbarkeit wie die interferentielle und die unten erwähnte Foucaultsche Methode.

3. Die Probe wird in ein wohldefiniertes konvergentes Lichtbündel gestellt und das Auge mit seiner Pupille in den Vereinigungspunkt des Lichtbündels gebracht. Bei der Betrachtung der Probe sieht man deren Schlieren Allerdings ist dann die Empfindlichkeit dieser Methode sehr gering. Man erhält bessere Resultate, wenn man vor das Auge eine genügend starke Sammellinse hält, so daß man nicht mehr auf die Probe, sondern weit davor akkommodiert. Aber auch dann ist die Empfindlichkeit noch nicht vergleichbar mit derjenigen der Projektionsmethode.

4. Die bekannte Foucaultsche Messerschneidenmethode ist in allen Fällen sehr empfindlich, sofern die Probe vorzügliche Flächen besitzt und nicht noch geometrisch-optische Ablenkungsfehler hineinbringt.

Am brauchbarsten dürfte noch in den meisten Fällen die Projektionsmethode sein.

Flügge.

Über das „Kreuzvisier Hensoldt Modell 1924“ und den regelmäßigen Fehler einiger neueren Winkelprismen.

Von H. Hohenner. *Allg. Vermessungsnachr. 1926. S. 244.*

Der Verfasser macht eine Mitteilung über die Entstehung des neuen „Kreuzvisiers“ von M. Hensoldt & Söhne[1]); aus ihr geht hervor, daß er die Anregung zur Verwendung von Wollastonschen Prismen an Stelle von Bauernfeindschen gegeben hat. Nach einem einfachen Beweis für die Wirkungsweise des Wollastonschen Prismas wird das Ergebnis der Untersuchung verschiedener Rechtwinkelprismen mitgeteilt; danach betrug die Abweichung des Ablenkungswinkels des Prismas von 90^0 bei sechs Wollastonschen Prismen $\pm 13''$ und bei zehn anderen Prismen $\pm 29''$ im Durchschnitt.

P. W.

Über elektrische Methoden der Messung des erdmagnetischen Feldes und ein Universal-Induktions-Magnetometer.

Von W. Uljanin. *Zeitschr. f. Techn. Physik.* **8.** *S. 493—495. 1927.*

Der Verf. bespricht zunächst ältere von ihm ausgeführte Konstruktionen, die zum Ziele haben, die bei der Gaußschen bzw. Lamontschen Methode zur Messung der Horizontalintensität verwendeten Ablenkungsmagnete durch Stromspulen zu ersetzen. Die Messung des Stromes geschieht wie üblich nach der Kompensationsmethode unter Benutzung eines Normelelementes. Der Verf. umgeht jedoch die Verwendung eines Galvanometers dadurch, daß er die Stromlosigkeit auch mit der abzulenkenden Nadel feststellt, und bringt dafür in ihrer unmittelbaren Nähe Spulen an, die in den Stromkreis des Normelelementes geschaltet werden. — Indem er einen Erdinduktor mit Spulen versieht, gewinnt er einen Apparat, mit dem er jede beliebige Komponente messen kann, die durch

---

[1]) Vgl. *diese Zeitschrift 44. S. 277. 1924.*

einen durch die Spulen geschickten Strom kompensiert wird. Allerdings erlaubt die Inhomogenität les Feldes nicht eine kontinuierliche Drehung der Induktionsspule, vielmehr ist die Multiplikations-nethode erforderlich; es muß also die Spule in einem durch Anschläge festgelegten Bereich in der Periode der Schwingungsdauer des Galvanometers hin- und herbewegt werden. In der Praxis wird sich die Messung auf Deklination, Inklination und Totalintensität erstrecken. Die Deklination wird zusammen mit der Inklinitation (Stromlosigkeit ohne äußeres Feld) auf $^1/_2$ Bogenminute genau, die Totalintensität nach Drehung der Rotationsachse um 90° durch Messung des Kompensationsstromes gefunden.

Leider werden weder Meßergebnisse mitgeteilt, noch Angaben über die erzielte Genauigkeit gemacht. Es erscheint nicht allzu bequem (wie es bei der Messung von D und J erforderlich ist), durch Variation von zwei Richtungen die Stelle der Stromlosigkeit aufzufinden. Ferner werden bei der Messung der Totalintensität nach der angegebenen Art inzwischen erfolgte Änderungen der Inklination vernachlässigt. Im stationären Gebrauch zur Messung ein und derselben Komponente wird sich das Induktions-Magnetometer, das natürlich des Anschlusses an ein Normalinstrument bedarf, sicherlich gut bewähren, wie ähnliche Konstruktionen gezeigt haben, aber ob es bei Feldmessungen den sonst angewandten Methoden überlegen ist, könnte erst aus praktischen Ergebnissen gefolgert werden. *R. Bock.*

Hochspannungsvoltmeter.

Von O. Klemperer. *Physikal. Zeitschr.* **28.** *S. 673—674. 1927.*

Der Apparat beruht auf der elektrostatischen Anziehung zweier geladener Kugeln, von denen die eine auf einem isolierenden Fuß fest montiert, die andere bifilar so aufgehängt ist, daß die Bewegungsebene des entstehenden Pendels durch den Mittelpunkt der festen Kugel geht. Die zu messende Spannung wird mittels geeigneter Zuführungen an beide Kugeln angelegt. Die der Zugkraft entgegenwirkende Richtkraft liefert eine senkrecht zur Pendelebene ausgespannte Querfeder, an welcher die bewegliche Kugel befestigt ist. Die Verschiebung der letzteren unter der Wirkung des elektrischen Feldes wird durch ein senkrecht zur Bewegungsrichtung gestelltes Mikroskop beobachtet. Eine magnetische Dämpfung bremst die Einstellschwingungen ab.

Durch Wahl geeigneter Federn läßt sich die Charakteristik des Instrumentes praktisch geradlinig machen, sowie der Meßbereich verändern. Ein ausgeführtes Modell erlaubte, Spannungen zwischen 5 und 80 kV auf etwa 1% genau zu messen. *Zickner.*

Bücherbesprechungen.

P. Werkmeister, Einführung in die Ausgleichsrechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. 8°. VI, 198 S. m. 34 Textfig. Konrad Wittwer, Stuttgart 1928. Geb. 10,50 RM.

In dem bekannten Verlage von Konrad Wittwer ist vor wenigen Wochen ein sehr gut ausgestattetes und preiswertes Lehrbuch von Prof. Dr. P. Werkmeister unter obgenanntem Titel erschienen.

Im Vorwort betont der Herr Verfasser, daß sein Werk dazu dienen soll, den mathematisch vorgebildeten Anfänger, mit dem Wesen der Ausgleichsrechnung vertraut zu machen und soweit zu unterrichten, daß er fähig wird, verschiedenartige Probleme der Ausgleichsrechnung selbständig zu lösen.

Die Erreichung dieses, vom Herrn Verfasser angestrebten Zieles, ist zweifellos glänzend gelungen; denn es dürfte nicht leicht sein, ein anderes Buch von gleich geringem Umfange zu finden, in welchem die Fehler- und Ausgleichsrechnung mit gleicher Einfachheit, Klarheit und Eleganz behandelt wird wie hier. Das Gesagte gilt insbesonders von jenen Teilen des Werkes, welche sich mit der Fehlerrechnung befassen und den zahlreichen Beispielen, welche zur Erläuterung der theoretischen Untersuchungen dienen.

Der Herr Verfasser teilt sein Werk in 2 Abschnitte, dessen erster die Fehlerrechnung, dessen zweiter die Methoden der Ausgleichsrechnung umfaßt.

Im I. Abschnitte folgen auf die Erklärungen der verschiedenartigen Fehlertypen, die Definitionen des mittleren und des wahrscheinlichsten Fehlers, die mathematische Fassung des Fehler-

fortpflanzungsgesetzes und einige graphische Methoden der Fehlerbestimmung. Schließlich die Aufstellung des gewöhnlichen und allgemeinen arithmetischen Mittels als beste Werte von direkten Beobachtungen, samt den üblichen Rechenkontrollen $[v] = 0$ bzw. $[pv] = 0$.

Diesen beiden Kontrollen wird vom Herrn Verfasser noch eine weitere Kontrolle für $[vv]$ bzw. $[pvv]$ hinzugefügt.

Der II. Abschnitt ist in 4 Kapitel gegliedert, dessen erstes lediglich der Einleitung dient, während die Kapitel 2, 3, 4 der Reihe nach die Ausgleichung von „direkten", „vermittelnden", „bedingten" Beobachtungen zum Gegenstande haben.

In Kapitel 1 hat der Herr Verfasser ausgehend vom allgemeinen arithmetischen Mittel die Minimumsbedingung $[pvv] = \text{Min}$ nachgewiesen, im Gegensatze zu anderen Autoren, die von der Minimumsbedingung ausgehend das allgemeine arithmetische Mittel abzuleiten pflegen.

Kapitel 3 bringt alle wesentlichen Formeln der Ausgleichsrechnung betreffend vermittelnde Beobachtungen, samt den üblichen Rechenkontrollen $[pav] = 0$, $[pbv] = 0, \ldots$ sowie die Quersummenproben. Ferner die Bestimmung der mittleren Fehler der Beobachtungen, der ausgeglichenen Werte, und beliebiger Funktionen dieser Werte.

In diesem Kapitel vermißt man die einfache Kontrolle $[pvv] = [pal]\,x + [pbl]\cdot y + \cdots + [pll]$, während die in § 9 angegebene gleichwertige Kontrolle $[vv] = [ll; 3]$ nicht ganz klar verständlich abgeleitet wurde, indem dort offenbar ein Druckfehler unterlaufen ist; denn die auf Seite 116 angegebene Gleichung $[al]\,x + [bl]\,y + [cl]\,z + [ll] = 0$, die den Normalgleichungen angefügt werden soll, kann nicht $= 0$ sein, weil die linke Seite $[vv]$ vorstellt. Es wäre also an dieser Stelle den 3 Normalgleichungen die Gleichung $[al]\,x + [bl]\,y + [cl]\,z - [vv] + [ll] = 0$ anzufügen, um dann aus allen 4 Gleichungen durch Elimination von x, y, z die gewünschte Kontrolle $[vv] = [ll; 3]$ zu erhalten.

Ferner konnte in § 14 noch ausdrücklich betont werden, daß $l = f(a)$ oder besser $l = f(a, x, y, z, \ldots)$ in a linear sein muß, wenn die angegebene graphische Darstellung eine Gerade ergeben soll. —

In § 15, dem letzten von Kapitel 3, wird in einem eleganten Beweise dargetan daß die Methode der kleinsten Quadrate die beste Methode ist, indem die ausgeglichenen Unbekannten mit den kleinsten mittleren Fehlern behaftet erscheinen.

Kapitel 4 bringt sehr verständlich die Ausgleichungen bedingter Beobachtungen, die mittleren Fehler der Beobachtungswerte, der ausgeglichenen Werte und beliebiger Funktionen der letzteren. Den Schluß dieses Kapitels und damit auch des Buches, bildet die Anwendung der gewonnenen Formeln auf den einfachen Fall einer einzigen, linearen Bedingungsgleichung.

Zusammenfassend darf wohl behauptet werden, daß die einfachen mathematischen Darstellungen, die klaren wohldurchdachten Erläuterungen und die mit größter Umsicht ausgewählten und mit peinlicher Sorgfalt durchgearbeiteten Beispiele das vorliegende Werk zu einem der besten seiner Art machen; und es ist nicht zu bezweifeln, daß es sich in kürzester Zeit nicht bloß unter den Studierenden an den Hochschulen, sondern auch unter den Fachleuten und Lehrern geodätischer Fächer zahlreiche Freunde gewinnen wird. *V. Theimer.*

F. Auerbach und **W. Hort**, Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik. Joh. Ambr. Barth. Leipzig 1927. Bd. V, 1. Lief. 8°. IX, 472 S. m. 231 Abb. Subscr.-Pr. 36,00 RM. Bd. VI, 1. Lief. VIII, 460 S. m. 311 Abb. Subscr.-Pr. 36,00 RM.

Der 1. Lieferung des Bd. I und dem vollständigen Bd. III, die in *dieser Zeitschr.* **47.** *S. 602 1927* besprochen wurden, folgen jetzt die oben angezeigten umfangreichen Lieferungen.

Die erste Lieferung des fünften Bandes behandelt die Hydromechanik in größter Ausführlichkeit. Den Hauptinhalt des Buches hat F. Auerbach bearbeitet, nämlich die Eigenschaften der Flüssigkeiten, die Hydrostatik und Hydrodynamik, die Wirbelbewegung, ferner Ausfluß und Strahlbildung, Bewegung fester Körper in Flüssigkeiten und die Wellenbewegung in ihnen. H. Lorenz-Danzig behandelt Strömung und Turbulenz, W. Ekman-Lund die Meeresströmungen und B. Gutenberg unter dem Stichwort Ebbe und Flut die Gezeiten des Meeres und der festen Erde. Das Kapitel Reibung in Flüssigkeiten von L. Graetz und K. Stöckl sowie ein kurzer Anhang über die innere Reibung des Blutes von W. R. Hess beschließen diesen Teil.

Der Aeromechanik und ihren vielseitigen Sondergebieten ist die erste Lieferung des VI. Bandes gewidmet. Außer drei Abschnitten von F. Auerbach über die Eigenschaften der Gase, die Aerostatik und die Aerodynamik, tragen die Kapitel Luftpumpen und Vakuumtechnik von W. Gaede und Technische Messungen an Gasen von W. Block der instrumentellen Seite dieser Gebiete ausgiebig Rechnung. Neben den Darlegungen von Graetz und Stöckl über die innere Reibung der Gase seien die Kapitel über atmosphärische Bewegungen von F. Exner, über Explosion und Explosionswellen von E. Bollé und über feste und flüssige Körper in Gasen von W. Deutsch als Merkmale der weitgehenden inhaltlichen Spezialisierung des großen Werkes hervorgehoben. *G.*

J. William Gifford. *Lens computing by trigonometrical trace.* (Linsenberechnung durch trigonometrische Durchrechnung.) 8⁰. XII, 81 S. m. 19 Abb. Macmillan & Co., Ltd. London 1927. Preis 7/6 S.

Wie der Verf. im Vorwort selbst bemerkt, bezweckt er mit der Herausgabe des Buches, das Werk von Steinheil und Voit zu vervollständigen, da bekanntlich von den genannten Verfassern nur der erste Teil ihres „Handbuches der angewandten Optik“ herauskam. Leider aber wird im Text des Buches nicht das erfüllt, was Verf. verspricht. Es wäre vielleicht zu entschuldigen, wenn Verf. sich an die gänzlich veraltete Bezeichnungsweise von Steinheil und Voit anschließt, obgleich auch dagegen manches einzuwenden wäre; aber Tatsache bleibt, daß der neue Leitfaden von Gifford weit hinter dem alten Steinheil-Voit zurückbleibt. Man hätte erwartet, daß bei den neuzeitlichen Erfahrungen der optischen Rechenkunst wirklich ein ganz neuartiges wertvolles Werk geschrieben wäre, statt dessen aber gefällt sich der Verf. in einer außerordentlich naiven Darstellung der einfachen trigonometrischen Durchrechnung. Nach ziemlich endlosen Auseinandersetzungen über Lichtwellen, Brechung und Dispersion, über äußerliche Unterscheidungsmerkmale der Linsen sowie über Spektrometermessungen beginnt die eigentliche Anleitung zum optischen Rechnen. Die ganze Vorrechnung nach der Seidelschen Theorie beschränkt sich auf Achromasie und sphärische Korrektion. Dabei fallen einige Bemerkungen über die richtige Vorzeichenwahl. Die Anweisung zur trigonometrischen Durchrechnung wird durch Ratschläge für die Benutzung brauchbarer trigonometrischer und logarithmischer Tafeln eingeleitet. Es folgen Auseinandersetzungen über die Wahl der durchzurechnenden Zonen und sodann als Hauptsache die Anleitung zur trigonometrischen Durchrechnung achsenparallel einfallender Strahlen. Erläuterungen dazu bieten Beispiele an einem verkitteten Dublet, einem unverkitteten Dublet und an verschiedenartigen Okularen. Was lernt man nun? Trigonometrische Durchrechnung achsenparallel einfallender Strahlen! Und ob man es wirklich lernt, wenn man noch gar keinen Begriff vom optischen Rechnen hat? Dazu dürfte die umständliche Bezeichnungsweise und das gänzliche Fehlen jeglicher kritischen Erörterung über den Einfluß der Bildfehler auf die Abbildungsgüte, vor allem über das jeweils Erforderliche hinsichtlich der Korrektion, kaum dienen. Ein Anfänger kann sich mit einem durch seine übertriebene Knappheit so schwer verständlichen Buch nicht abquälen. Und was die Vollständigkeit anbelangt, so entspricht die Überschrift „*Lens computing*“ noch lange nicht dem wahren Inhalt. Denn zu einer vollständigen Linsenberechnung gehört nicht bloß trigonometrische Durchrechnung achsenparalleler Bündel, sondern auch astigmatische Durchrechnung, verbunden mit passender Blendenwahl, und noch vieles andere, wovon in dem vorliegenden Büchlein überhaupt nichts gesagt wird.

Flügge.

A. Mangin und **W. Tschikolew,** Drei grundlegende und gemeinverständliche Arbeiten zur Scheinwerferfrage. Übersetzt von A. Sonnefeld. Ostwalds Klassiker der exakten Wissenschaften Nr. 219. IX, 133 S. m. 48 Abb. und Tafeln. Akademische Verlagsgesellschaft m. b. H., Leipzig, 1927.

In dem neuesten Band der bekannten Ostwaldschen Klassikersammlung erscheinen drei historisch wichtige und interessante Arbeiten zur Scheinwerferfrage in deutscher Übersetzung. Es handelt sich zunächst um eine Denkschrift Mangins aus dem Jahre 1874, überschrieben: „Denkschrift über das System der optischen Telegraphie für die Verteidigung von Paris“. Hierin wird die Entwicklung der Blinkgeräte vom Linsengerät bis zum Spiegelgerät behandelt, besonders interessant durch den darin vorkommenden „Manginschen Satz“ über die Helligkeit des Gebers. Es

schließt sich eine „Untersuchung verschiedener optischer Einrichtungen zur Beleuchtung ferner Gegenstände mit elektrischem Licht“ von A. Mangin an, in welcher die ersten grundlegenden Gedanken niedergelegt sind, die zur Konstruktion der Manginspiegel führten. Endlich enthält das Büchlein noch eine dritte grundlegende Arbeit zum Scheinwerferproblem von dem russischen Oberst Tschikolew „Über die Prüfung elektrischer Scheinwerfer auf photographischem Wege“.

Flügge.

Dr. Paul Schrott, Leitfaden für Kinooperateure und Kinobesitzer. 6. umgearb. u. verb. Auflage. 8°. VI, 175 S. m. 144 Abb. Julius Springer, Berlin und Wien 1928. Brosch. 6,60 RM.

Das Buch richtet sich wohl in erster Linie an die Benutzer der Kinoapparate. Es bietet jedoch auch dem Leserkreis unserer Zeitschrift außerordentlich viel Wissenswertes auf dem Gebiet der eigentlichen Projektionstechnik und sei deshalb hier warm empfohlen. Die vorzügliche Ausstattung des Buches sei noch besonders hervorgehoben. *G.*

Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, herausgegeben vom Deutschen Markscheider-Verein, E.V. Schriftleitung K. Haußmann und W. Löhr. Jahresheft 1926. Inlandpreis 8.— RM.

In dem letzten Jahresheft der Mitteilungen aus dem Markscheidewesen, deren Schriftleitung neuerdings K. Haußmann wieder mit übernommen hat, befinden sich verschiedene Aufsätze, auf die in dieser Zeitschrift wenigstens hingewiesen werden soll. Es sind dies die Aufsätze von Fox über die neuzeitliche Entwicklung der Lotorientierungen, G. Angenheister über die Fortentwicklung geophysikalischer Aufschlußverfahren in den letzten Jahren, W. Uhink über die optische Distanzmessung mit Fernrohren von unveränderlicher Länge, K. Lüdemann über die Verwendung der Dieperink-Latte im Markscheidewesen und F. Haarstick über die Drehwage und ihre Anwendung zur Erforschung der oberen Erdrinde. *P. W.*

Jahresbericht des Reichsamts für Landesaufnahme.

Der auf die Zeit vom 1. April 1926 bis 31. März 1927 sich beziehende Jahresbericht ist enthalten in der Nummer 2 des 3. Jahrgangs der Mitteilungen des Reichsamts für Landesaufnahme.

Die Trigonometrische Abteilung hat in dem Berichtsjahr in einem als „Oberschlesisches Grenznetz“ bezeichneten Netz I. Ordnung die Winkel gemessen; die Messung erfolgte nach dem Schreiberschen Verfahren und ergab für den mittleren Fehler einer ausgeglichenen Richtung aus den Stationsausgleichungen $\pm 0'',14$, aus Dreiecksschlüssen $\pm 0'',18$ und aus der Netzausgleichung $\pm 0'',18$. Von den 412 Sätzen wurden 3 vom Hundert bei Nacht gemessen; bei den bei Tag gemessenen Sätzen wurde bei der einen Hälfte Heliotroplicht und bei der anderen Hälfte Kalklicht zur Sichtbarmachung der Zielpunkte verwendet. Die mit Kalklicht gemachten Erfahrungen waren „gut, ja meist besser“ als die mit Heliotroplicht; die Sichten betrugen 14—30 km. Bei Winkelmessungen in dem Märkisch-Schlesischen Hauptdreiecksnetz wurden von rund 500 Sätzen ungefähr die Hälfte bei Tag und die Hälfte bei Nacht beobachtet. Bei den Tagbeobachtungen wurde mit Erfolg zum Teil nach Kalklicht beobachtet, und zwar bei Sichten bis zu 64 km. Zu den Nachtbeobachtungen wurde elektrisches Licht nur bei Sichten bis zu 40 km verwendet; sonst wurde Kalklicht benutzt. *P. W.*

Berichtigung zu: Bestimmung der Höhenlage der Insel Terschelling[1]).

Der letzte Abschnitt muß folgendermaßen heißen:

Von den Ergebnissen der ganzen Messung sei wenigstens noch angeführt, daß bei den Zielweiten von 2 km, 2,5 km und 6 km für die mittleren Fehler der endgiltigen Höhenunterschiede die Werte $\pm 0,2$ cm, $\pm 0,2$ cm und $\pm 0,4$ cm berechnet wurden; die mittleren Fehler eines einmal gemessenen Höhenunterschieds sind $\pm 1,1$ cm, $\pm 0,7$ cm und $\pm 2,5$ cm. *P. W.*

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* **48.** *S. 136. 1928.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. E. **Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. R. **Straubel** in Jena,
Prof. Dr. F. **Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **September 1928.** Neuntes Heft.

Die Schwingungsdauer der nicht ausgewuchteten Unruh.

Von
H. Bock in Hamburg.

Bekanntlich reguliert man Taschen- und auch ortsfeste Uhren mit Unruh gelegentlich dadurch, daß man die Auswuchtung der Unruh absichtlich stört; dabei wird bei Taschenuhren vorausgesetzt, daß das Gehäuse mit dem Bügel nach oben getragen wird. Durch solches Verfahren wird der Regler zu einem Gemisch von Unruh und Pendel.

Auch abgesehen von dem Zweck dieser rohen Methode ist es nicht ohne Interesse, nachzuprüfen, wie sich eine nicht ausbalancierte Unruh dynamisch verhält. Unter der vereinfachenden Voraussetzung, daß der Schwerpunkt bei entspannter Spirale eine höchste oder tiefste Lage einnimmt, gibt die Praxis hierfür aus der Erfahrung gewonnene Faustregeln an, die etwa so formuliert werden können: ein unten gelegener Schwerpunkt erzeugt bei isochronischer Unruh bis zu 135° Ausschlag erhebliches Voreilen, das bei Annäherung der Schwungweite an 180° abnimmt, um bei etwa 225° ganz zu verschwinden; bei weiterer Vergrößerung des Schwingungsbogens geht das Voreilen in Zurückbleiben über. Der Isochronismus ist also vollkommen zerstört.

Wir wollen im folgenden diese Behauptungen der Praxis mit Hilfe der Bewegungsgleichung nachprüfen und außerdem zusehen, ob es vielleicht irgendwo oskulierenden Isochronismus gibt. Da eine strenge analytische Untersuchung mit den gewöhnlichen Hilfsmitteln nicht durchführbar ist, so werden wir ein Annäherungsverfahren zur Anwendung bringen, d. h. wir werden die dirigierende Kraft als Funktion des Ausschlages durch eine Interpolationsformel ausdrücken, die eine bequeme Auswertung der auftretenden Quadratur zuläßt und uns gestattet, das Gesetz $T(\varphi_0)$ mit hinreichender Näherung zu formulieren. T ist darin die Zeit zwischen zwei Umkehrpunkten und φ_0 die maximale Auslenkung.

Ist Θ das dynamische Trägheitsmoment der Unruh in g mm sek², k das Direktionsmoment der isochronischen Spirale in g mm je Bogeneinheit, G das Unruhgewicht in Gramm und e der Abstand ihres Schwerpunktes von der Drehachse in mm, so lautet die Bewegungsgleichung unter Voraussetzung einer tiefsten Schwerpunktlage bei entspannter Spirale (vergleiche umstehende Abb. 1):

$$\Theta \cdot \ddot{\varphi} + k \cdot \varphi + G \cdot e \sin \varphi = 0\,, \tag{1}$$

woraus sich durch Integration die Energiebilanz ergibt:

$$\Theta \frac{\dot{\varphi}^2}{2} = k \frac{\varphi_0{}^2 - \varphi^2}{2} + G \cdot e \int_{\varphi}^{\varphi_0} \sin \varphi \cdot d\varphi\,. \tag{2}$$

Wir ersetzen die Sinoide durch die in Abb. 2 maßstäblich zur Darstellung gebrachte kubische Parabel gleichen Flächeninhalts, wobei e als so klein vorausgesetzt wird, daß die Potenzen von $G \cdot e$ gegenüber k vernachlässigt werden können, wie es in praxi auch der Fall ist. In der Figur ist dieser relativen Kleinheit der Deutlichkeit wegen nicht Rechnung getragen. Damit die drei Nullstellen der Sinuslinie bei $0, \pi$ und 2π auch von der Interpolationsparabel innegehalten werden, muß sein:

$$\sin\varphi \approx a \cdot x \cdot (x^2 - 3x + 2), \tag{3}$$

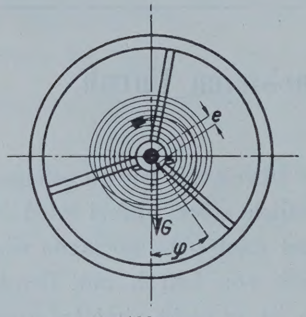


Abb. 1.

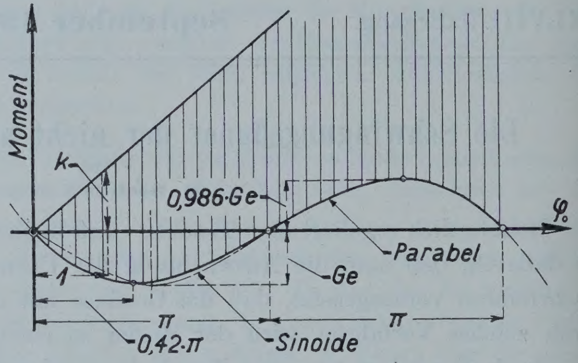


Abb. 2.

worin $x = \frac{\varphi}{\pi}$ ist. Die Forderung der Inhaltsgleichheit beider Kurven über der Strecke $0 - \pi$ läßt die Winkelgeschwindigkeit der Unruh in der Bahnmitte beim Maximalausschlage $\varphi_0 = \pi$ so groß werden, wie sie in Wirklichkeit ist. Sie findet ihren Ausdruck darin, daß in 3)

$$a = \frac{8}{\pi} \tag{4}$$

gemacht wird. Nunmehr folgt aus Gleichung 2) für die Zeit, die von der Unruh für den Lauf von $\varphi = \varphi_0$ bis $\varphi = 0$ in Anspruch genommen wird, d. h. für die halbe Schwingungsdauer:

$$\frac{T}{2} = \int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{\dot{\varphi}} = \frac{1}{\sqrt{A}} \cdot \int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{\sqrt{(\varphi_0^2 - \varphi^2) \cdot \left[1 - \frac{B}{A} \cdot \frac{\varphi_0^3 - \varphi^3}{\varphi_0^2 - \varphi^2} + \frac{C}{A}(\varphi_0^2 + \varphi^2)\right]}}, \tag{5}$$

worin:

$$A = \frac{1}{\Theta} \cdot \left(k + \frac{16}{\pi^2} \cdot G \cdot e\right), \tag{6}$$

$$B = \frac{1}{\Theta} \cdot \frac{16}{\pi^3} \cdot G \cdot e, \tag{7}$$

$$C = \frac{1}{\Theta} \cdot \frac{4}{\pi^4} \cdot G \cdot e. \tag{8}$$

Mit Rücksicht auf die vorausgesetzte und auch tatsächlich vorhandene Kleinheit von Ge gegenüber k entwickeln wir sowohl A als auch die Wurzel in eine Potenzreihe und brechen nach den ersten Potenzen ab:

$$\frac{T}{2} = \sqrt{\frac{\Theta}{k}} \cdot \left(1 - \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{Ge}{k}\right) \cdot \int_0^{\varphi_0} \frac{d\varphi}{\sqrt{\varphi_0^2 - \varphi^2}} \cdot \left[1 + \frac{8}{\pi^3} \frac{Ge}{k} \cdot \frac{\varphi_0^3 - \varphi^3}{\varphi_0^2 - \varphi^2} - \frac{2}{\pi^4} \cdot \frac{Ge}{k} \cdot (\varphi_0^2 + \varphi^2)\right] \tag{9}$$

Die Integration liefert:

$$\frac{T}{2}=\sqrt{\frac{\Theta}{k}}\cdot\left(1-\frac{8}{\pi^2}\cdot\frac{G\,e}{k}\right)\cdot\left[\left(1-\frac{3}{\pi^4}\cdot\frac{G\,e}{k}\cdot\varphi_0^{\,2}\right)\cdot\text{arc sin}\,\frac{\varphi}{\varphi_0}\right.$$
$$\left.+\frac{8}{\pi^3}\,\frac{G\,e}{k}\cdot\frac{\varphi^2+\varphi\cdot\varphi_0-2\,\varphi_0^{\,2}}{\sqrt{\varphi_0^{\,2}-\varphi^2}}+\frac{1}{\pi^4}\,\frac{G\,e}{k}\cdot\varphi\cdot\sqrt{\varphi_0^{\,2}-\varphi^2}\right]_0^{\varphi_0}, \qquad 10)$$

oder nach Einführung der Grenzen:

$$\frac{T}{2}=\frac{T_0}{2}\left[1-\frac{1}{\pi^2}\cdot\frac{G\,e}{k}\cdot\left(8-\frac{32}{\pi}\cdot\frac{\varphi_0}{\pi}+3\,\frac{\varphi_0^{\,2}}{\pi^2}\right)\right], \qquad 11)$$

wobei T_0 für $\pi\sqrt{\frac{\Theta}{k}}$ gesetzt ist. T_0 ist also die Schwingungsdauer der ausgewuchteten Unruh. Die Beziehung 11) zeigt, daß tatsächlich an einer Stelle ein pseudoisochronischer Punkt liegt, in dessen Umgebung „oskulierender Isochronismus" besteht; das ist dort der Fall, wo $\frac{\partial T}{\partial \varphi_0}$ verschwindet, d. h. an der Stelle $\varphi_0 = 5{,}33\ B\,E$ oder 306^0. Die Lage dieses Punktes hat sich somit aus dem Kraftgesetz und aus der aus ihm folgenden Gleichung 11) ergeben; ungleich schwieriger wäre die Aufgabe, ein Kraftgesetz ausfindig zu machen, bei dem oskulierender Isochronismus auftritt. Vergleiche *diese Zeitschr.* ***38.*** *S. 161.* ***1918,*** wo ich diese Frage angeschnitten habe.

Gemäß Gleichung 11) beträgt das tägliche Voreilen der Uhr mit unausgewuchteter Unruh:

$$\varDelta=1440\cdot\frac{T_0-T}{T}\approx 1440\cdot\frac{T_0-T}{T_0}=\frac{11520}{\pi^2}\cdot\frac{G\,e}{k}\cdot\left(1-\frac{4}{\pi}\cdot\frac{\varphi_0}{\pi}+\frac{3}{8}\,\frac{\varphi_0^{\,2}}{\pi^2}\right)\text{m/d}. \qquad 12)$$

Setzt man das Trägheitsmoment der Unruh von G Gramm Gewicht und r mm Radius genähert gleich $\frac{G}{g}\cdot r^2$, so kommt für die ungestörte Schwingungsdauer:

$$T_0=\pi\cdot\sqrt{\frac{G\cdot r^2}{g\cdot k}}\ \text{sek}; \qquad 13)$$

setzt man weiter das Verhältnis $\frac{G}{k}$ aus 13) in 12) ein, so ergibt sich gut approximiert:

$$\varDelta=1{,}1\cdot\frac{T_0^{\,2}}{r^2}\cdot e\left[1-\frac{\varphi_0}{144}+\frac{1}{4}\cdot\left(\frac{\varphi_0}{144}\right)^2\right]\cdot 10^6\ \text{m/d}. \qquad 14)$$

Hierin sind die Strecken in Millimetern und die Winkel in Bogengraden einzusetzen. In Abb. 3 ist der Klammerwert aus 14) über der Maximalauslenkung φ_0 als Abszisse graphisch dargestellt. Aus dem Verlauf der Kurve ist ersichtlich, wie die Voreilung mit zunehmender Schwungweite abnimmt, um schließlich bei 222^0 die erste Nullstelle n zu erreichen, einem Winkel, der mit der Empirie recht gut übereinstimmt. Bei weiterer Vergrößerung der Schwingung wechselt die Störung ihr Vorzeichen, um bei 306^0 an den bereits erwähnten pseudoisochronischen

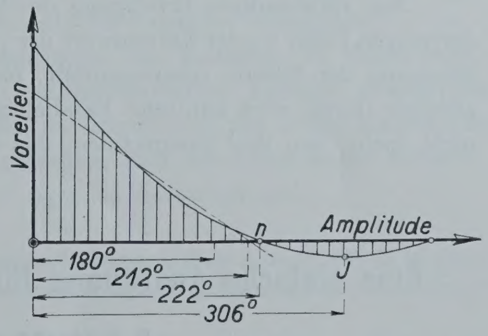


Abb. 3.

Punkt J zu gelangen, und bei $\varphi_0 = 2\pi$ hört die Gültigkeit der Beziehung 14) auf. Die Voreilung für sehr kleine Ausschläge wird zu groß angegeben, weil die kubisch Parabel vom Nullpunkt aus steiler ansteigt als die Sinoide; aber dieses Gebiet komm praktisch nicht in Betracht. Die gute Übereinstimmung mit den eingangs erwähnte Faustregeln der Praktiker zeigt wieder einmal deren Feinfühligkeit.

Die starke Abhängigkeit der Größe Δ von der Schwungweite zeigt die gering praktische Brauchbarkeit der Regulierung mit „Schwerpunkt". Vielleicht läßt sich abe das Gesetz 14) umgekehrt verwenden bei der Feststellung der wahren Schwerpunkts lage und bei der Beseitigung der Exzentrizität.

Man hätte den zwischen zwei Nullpunkten gelegenen Ast der Sinoide natürlic auch durch eine Parabel zweiter Ordnung interpolieren können, wobei man den Vortei noch größerer Annäherung an die Wirklichkeit gehabt hätte; für eine Unruh, dere Auslenkung 180^0 nicht übersteigt, würde das auch genügt haben. Die Formel für Δ lautete dann einfach:

$$\Delta = \frac{5}{6} \cdot \frac{T_0^2}{r^2} \cdot e \left(1 - \frac{\varphi_0}{212}\right) \cdot 10^6 \text{ m/d}. \qquad 15)$$

Die von ihr gelieferten Werte sind in Abb. 3 strichpunktiert angegeben; wie man sieh weichen sie von denen der Formel 14) für Schwungweiten über 90^0 nicht viel ab. Be einer Steigerung der Amplitude über rund 200^0 hinaus würde aber Formel 15) ih Gültigkeit verlieren, oder man müßte von 180^0 aufwärts ein neues parabolisches Kraf gesetz mit umgekehrten Vorzeichen einführen. Damit entstünde bei π ein Unstetigkeit punkt, der die Einführung neuer Grenzen nötig machte und damit die einfache rational Form der Funktion Δ vernichtete. Wir geben daher in diesem Falle der Gleichung 14 den Vorzug.

Zum Schluß ein Zahlenbeispiel, das den Einfluß der Exzentrizität quantitati illustrieren soll. Die Unruh einer Taschenuhr mit 18000 Schwingungen je Stunde mög einen Radius $r = 8$ mm besitzen. Die Exzentrizität ihres Schwerpunkts sei 0,01 mn Dann beträgt die tägliche Abweichung:

$$\Delta = 1{,}1 \cdot \frac{0{,}2^2}{8^2} \cdot 0{,}01 \cdot 10^6 \left[1 - \frac{\varphi_0}{144} + \frac{1}{4}\left(\frac{\varphi_0}{144}\right)^2\right] = 6{,}9 \left[1 - \frac{\varphi_0}{144} + \frac{1}{4}\left(\frac{\varphi_0}{144}\right)^2\right] \text{ m/d}.$$

Die Anfangsordinate der Kurve 3 bedeutet also in diesem Falle 7 Minuten je Ta und bei beispielsweise 180^0 Ausschlag tritt eine tägliche Voreilung von rund ein Minute ein. Man sieht, ein wie feines Reagens auf mangelnde statische Auswuchtu die Schwingungsdauer einer Unruh ist.

Zur vollständigen Erledigung des Problems gehört eigentlich noch die Behandlu derjenigen Fälle, wo der Extremwert der potentiellen Energie der Unruh nicht mit der En spannung der Spirale zusammenfällt; hierfür genügt aber die Interpolation des Kra gesetzes durch eine kubische Parabel nicht mehr. Dieser allgemeinste Fall ist dah nicht mehr dem Ziel zuzurechnen, das diese Studie verfolgt.

Eine einfache Anordnung für stroboskopische Untersuchungen.

Von

H. E. Linckh und **R. Vieweg** in Berlin.

Die Beobachtung von Bewegungsvorgängen, insbesondere von Drehbewegung mit Hilfe von stroboskopischen Erscheinungen erweist sich überall da als meßtechnis

ʼorteilhaft, wo das zur stroboskopischen Beobachtung[1]) erforderliche intermittierende ʟicht von vorgeschriebenem Rhythmus in einfacher Weise beschafft werden kann. Namentlich in der Elektrotechnik finden sich viele Anwendungsgebiete für stroboskopische Verfahren. Am bekanntesten ist hier die Schlüpfungsmessung an Asynchronmotoren, wo der zu beobachtende Motor und das Beobachtungshilfsmittel, die Lampe, vom gleichen Wechselstromnetz gespeist werden. Aber auch wenn Beobachtungsvorgang und Beobachtungshilfsmittel voneinander unabhängig sind, haben sich elektrische Methoden für viele Zwecke bewährt[2]). Beispiele hierfür sind die Drehzahlmessung namentlich kleiner Gleichstrommotoren sowie die Eichung von Meßinstrumenten wie Drehzahlmessern, Frequenzmessern, Zählern und ähnlichen Geräten. Hierbei dient die Frequenz eines Wechselstroms als Vergleichsnormal. Die Messung erfolgt entweder durch Einstellen auf Stillstand eines stroboskopischen Bildes oder durch Auszählen der Schlüpfung.

Der Aufgabenkreis der stroboskopischen Untersuchungen ist jedoch nicht damit erschöpft, daß regelmäßige Bewegungen zum scheinbaren Stillstand oder zu so verlangsamter Bewegung gebracht werden, daß sie auszählbar sind. Besonders wichtig und in ihrer Bedeutung durchaus nicht auf die Elektrotechnik beschränkt ist gerade die Aufgabe, unregelmäßige Bewegungen der Beobachtung zugänglich zu machen. So besteht z. B. großes Interesse, den Ablauf des Fadens von der Spindel einer Spinnmaschine zu überwachen. Weitere Beispiele sind die Beobachtung der Spanabhebung bei Werkzeugmaschinen oder des Öffnens und Schließens der Ventile bei Verbrennungsmaschinen. Es handelt sich in allen diesen Fällen um Bewegungsvorgänge, bei denen eine Lichtquelle gleicher Periodizität nicht ohne weiteres vorhanden ist. Wohl kann man etwa mit einer Spannungsquelle regelbarer Frequenz die Lichtquelle speisen und auf scheinbaren Stillstand der Bewegung einstellen, sobald aber die geringste Schwankung auftritt, beginnt das stroboskopische Bild zu wandern. Selbst wenn die Beobachtung hierdurch nicht unmöglich gemacht wird, so gibt das Wandern des Bildes doch leicht zu Täuschungen Anlaß. Beobachtet man z. B. das Arbeiten der Ventile eines rasch laufenden Verbrennungsmotors und hat man das Bild so eingestellt, daß man das Ventil in der Verschlußstellung sieht, so beginnt bei Schwankungen das Bild des Ventils sich langsam zu verschieben. Damit aber wird der Zweck der Beobachtung, nämlich festzustellen, ob die tiefste Stellung des Ventils immer mit der Verschlußstellung übereinstimmt, vereitelt.

Das allgemeine Ziel ist daher, eine Lichtquelle zu schaffen, deren Rhythmus dem zu beobachtenden, beliebig periodischen Vorgang zwangläufig folgt und die so gestattet, den Bewegungsvorgang zum d a u e r n d e n scheinbaren Stillstand zu bringen. Anordnungen, die diesem Zweck dienen, werden als Stroboskope bezeichnet[3]).

Im folgenden wird eine Anordnung beschrieben, die gestattet, in einem handlichen elektrischen Gerät den Rhythmus des intermittierenden Lichtes zwangläufig von dem zu beobachtenden Vorgang hervorrufen zu lassen. Bei der neuen Einrichtung ist vor allem auch dem Umstand Rechnung getragen, daß das Gerät keine nennenswerte mechanische Belastung des umlaufenden Systems darstellen soll.

---

[1]) H. E. Linckh und R. Vieweg, Stroboskopische Messungen, *diese Zeitschr.* ***46.*** *S. 30. 1926.*

[2]) Z. B. G. E. Moore, *The stroboscopic Determination of Speeds and Frequencies. The Engineer* ***139.*** *S. 209—211. 1925.*

[3]) Z. B. Elverson, *Journ. of Scient. Instr.* ***I.*** *No. 4. 1924.* Über verschiedene Typen von Stroboskopen vgl. z. B. W. Kniehahn, Optische Messungen an schnellaufenden Maschinen, *Der Motorwagen* ***29.*** *S. 505—510. 1926.*

Schließt man in bekannter Weise[1]) eine Entladungsröhre (Glimmlampe) L paralle zu einem Kondensator K unter Vorschaltung eines Widerstandes R an eine Gleich stromquelle an, so leuchtet die Lampe intermittierend auf. Der Rhythmus des Auf leuchtens ist von Spannung, Widerstand und Kapazität abhängig und kann durc Veränderung mindestens einer dieser drei Größen in weitem Bereich eingestellt werden Dieser Blinkkreis läßt sich nun so steuern, daß das Aufleuchten der Lampe im Gleich takt mit dem zu beobachten den Vorgang erfolgt. Abb. zeigt schematisch die Anord nung mit Steuervorrichtung Vor einem ruhenden Eisen joch J, das eine in de Lampenkreis geschaltete Spul S trägt, rotiert ein von de Welle der zu beobachtende Maschine angetriebener Ma gnetstab M. Dadurch entsteh in der Spule S eine Span nung von der Frequenz de Drehbewegung der Welle. Re gelt man die Blinkfrequen

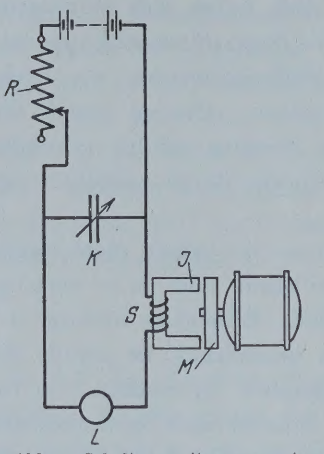


Abb. 1. Schaltung mit permanentem Magneten.

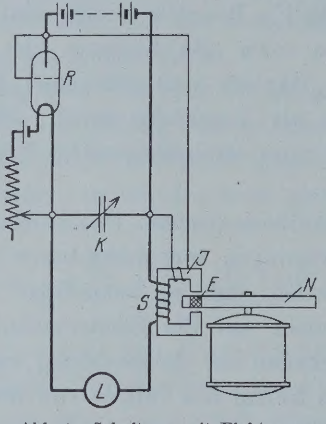


Abb. 2. Schaltung mit Elektronenröhre und Magnetisierung des Joches.

der Lampe etwa durch Veränderung des Widerstandes R oder des Kondensators K so daß sie genähert mit der Frequenz des Magneten übereinstimmt, so fällt d Lampenfrequenz in Tritt mit der Frequenz des Magneten und damit auch m der Frequenz der zu beobachtenden Drehbewegung; die an de Spule S auftretende Zusatzspannung zwingt also dem Lampen kreis ihre Frequenz auf, sie „steuert“ den Lampenkreis. B leuchtet man jetzt mit der Lampe die umlaufenden Teile, s scheinen sie stillzustehen; man erhält ein ruhendes, strob skopisches Bild. Die Stellung des Bildes im Raume ist vo der räumlichen Stellung des Joches J vor dem Magnetsta d. h. von der Phase der Zusatzspannung abhängig, kann al z. B. durch Drehung des Joches vor dem Magnetstab verändert werden.

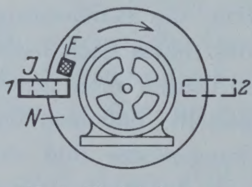


Abb. 3. Einfluß der Jochstellung.

Die Stabilität der Einrichtung, d. h. der Frequenzbereich, innerhalb dessen d Blinkfrequenz der Lampe in Tritt mit der Frequenz der Zusatzspannung bleibt, i von der Größe der Zusatzspannung abhängig und kann ziemlich groß gemacht werde Die Zusatzspannung läßt sich durch Variation der Daten des magnetischen Kreis beeinflussen. Ändert man innerhalb des Steuerbereiches die Daten des Blinkkreis so ändert sich der relative Zeitpunkt des Lichtblitzes und damit wiederum die St lung des Bildes im Raume.

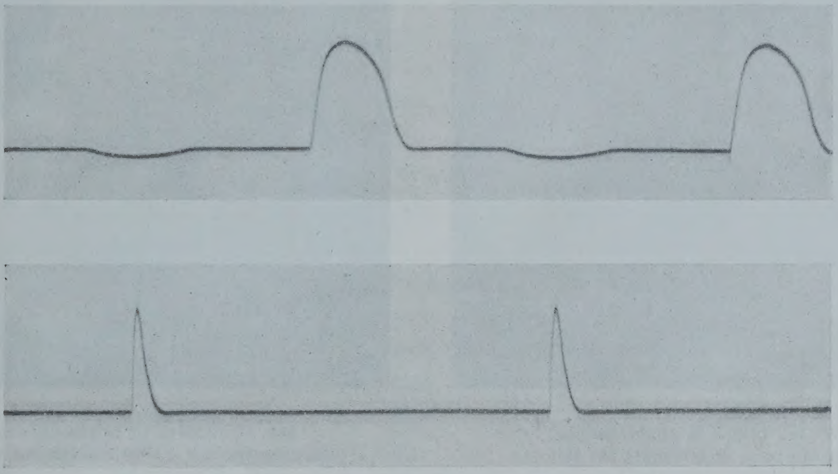
Anstatt die Zusatzspannung durch einen permanenten Magneten hervorzurufe kann man sie auch dadurch erzeugen, daß man das Joch durch eine zweite Wic lung magnetisiert, die unmittelbar von der Gleichstromquelle gespeist wird. Abb. zeigt eine solche Anordnung. An Stelle des Magnetstabes ist hier eine Scheibe N a nichtmagnetischem Material gewählt, die an einer Stelle des Umfangs ein Eisenstück

[1]) Vgl. z. B. F. Schröter, Die Glimmlampe, ein vielseitiges Werkzeug des Elektrikers. Ve lag von Hachmeister & Thal, Leipzig 1927.

rägt. Beim Durchgang des Eisens durch das Joch wird die Zusatzspannung induziert. ;ringt man mehrere Eisenstücke auf dem Umfang gleichverteilt an, so kann man ie Frequenz der Zusatzspannung vervielfachen. Zur Beobachtung sowohl sehr langamer wie sehr rascher Vorgänge lassen sich auf diese Weise günstige stroboskopische 'erhältnisse schaffen[1]). Es ist jedoch nicht erforderlich, daß die Steuerfrequenz ebenso roß ist wie die Blinkfrequenz. Eine Steuerung erfolgt auch, wenn die Frequenzen inner-alb gewisser Grenzen in einem beliebigen, ganzzahligen Verhältnis zueinander stehen. ;ei einem weiter unten beschriebenen Versuch lag z. B. das Frequenzverhältnis 1 : 2 vor.

An Stelle des Widerstandes *R* ist in Abb. 2 eine Elektronenröhre verwendet[2]).)ie Regelung erfolgt durch Veränderung des Heizstromes. Die Elektronenröhre bietet en Vorteil, daß der benötigte hochohmige Widerstand bequem und in weiten Grenzen ingestellt werden kann, während regelbare und konstante Widerstände anderer Art chwer zu beschaffen sind.

In Abb. 3 ist veranschaulicht, wie die Stellung des stroboskopischen Bildes im ;aume durch Veränderung der Stellung des Joches beeinflußt werden kann. Das



a

b

Abb. 4.
a Lampe unmittelbar vom Netz gespeist.
b Lampe in Blinkschaltung, mit Transformator vom Netz gesteuert.

:isenstück *E* hat in der in Abb. 3 gezeichneten Stellung das Joch *J* soeben passiert. Vird bei unveränderter Drehbewegung der Scheibe das Joch aus der Stellung 1 in ie Stellung 2 gebracht, so erfolgt der Lichtblitz um die Zeit einer halben Drehung päter. Beobachtet man z. B. am Umfang eines umlaufenden Systems, von dem nur er vordere Teil von der Lampe beleuchtet werden kann, so wird durch den Phasen-vechsel von 1 nach 2 das Bild der bei Stellung 1 der Lampe abgewandten, hinten-iegenden Teile nach vorn und damit in den Beobachtungskreis gebracht. Wird der tellungswechsel des Joches kontinuierlich ringsherum vorgenommen, sei es durch)rehung von Hand oder mittels mechanischer Einrichtungen, so wandert langsam das ;ild des gesamten Umfangs durch das Blickfeld des Beobachters.

[1]) Vgl. H. E. Linckh und R. Vieweg, Über stroboskopische Beobachtungen. *Arch. f. :lektrot.* ***15.*** *S. 509—521. 1926.*

[2]) Vgl. z. B. F. Schröter a. a. O.

Für gewisse Zwecke ist es erwünscht, eine konstante Frequenz bestimmter Größe als Vergleichsnormal zu besitzen. Zur Erzeugung einer solchen Standardfrequenz kommt insbesondere die Stimmgabel in Frage. In derselben Weise wie oben durch einen von dem Beobachtungsvorgang betätigten Unterbrecher kann der Rhythmus der Zusatzspannung auch durch die Stimmgabel oder einen anderen selbsttätigen Unterbrecher (Saite, Summer u. ä.) hervorgerufen werden[1]).

Der allgemeine Vorteil, den das beschriebene Stroboskop bietet, liegt darin, daß die erhaltenen Bilder scharf sind, da die Zeitdauer der Lichtblitze genügend klein ist. Dieser Punkt ist in vielen Fällen nicht weniger wichtig, als das Stillstehen der Bilder überhaupt. Handelt es sich nur darum, eine gewisse Bewegung des Bildes auszuzählen, so genügt die Speisung der Glimmlampe mit Wechselstrom. Das Bild ist dann weniger scharf, weil die Leuchtdauer einen erheblichen Teil einer Periode beträgt. Will man

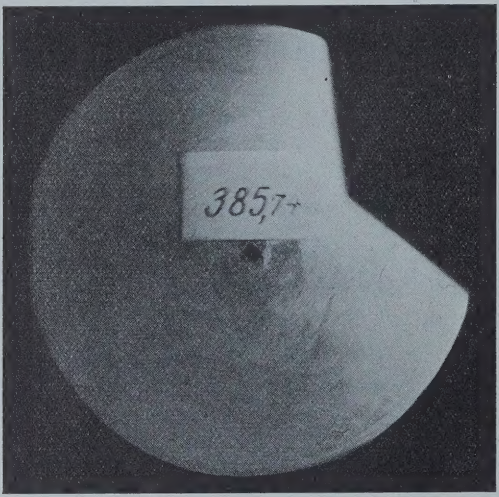


Abb. 5a. Lampe in Blinkschaltung.
(Blinkfrequenz = Drehfrequenz des Motors.)

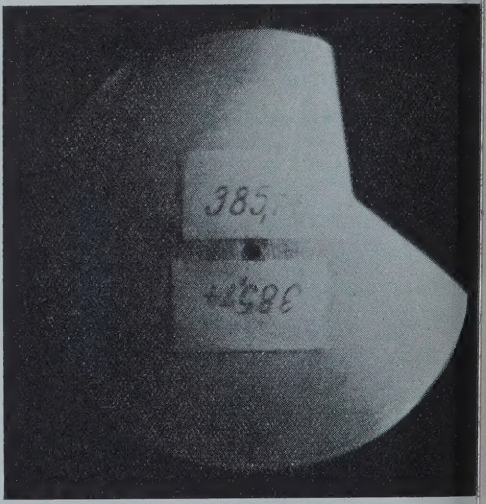


Abb. 5b. Lampe in Blinkschaltung.
(Blinkfrequenz = 2 × Drehfrequenz des Motors.)

aber Einzelheiten eines stillstehenden Bildes erkennbar machen, so bedarf es eine scharfen, sehr kurz dauernden Lichtblitzes. In Abb. 4a u. 4b (S. 419) sind oszillographische Aufnahmen des Stromverlaufs in einer Glimmlampe wiedergegeben. Bei der Aufnahme 4a ist die Lampe unmittelbar vom Wechselstromnetz von 50 Hz Frequenz gespeist, bei der Aufnahme 4b ist die Lampe in der oben beschriebenen Gleichstromblinkschaltung betrieben. An Stelle der Steuerspule S nach Abb. 1 bzw. 2 war hier die Unterspannungsspule eines vom Wechselstromnetz gespeisten Klingeltransformators zur Steuerung benutzt. Man erkennt die wesentlich kürzere Leuchtdauer bei Blinkschaltung. Die verwendete Glimmlampe war eine Klein-Gleichrichterröhre, deren eine Elektrode aus einem U-förmig gebogenen Blech von etwa 3 cm Breite und 4 cm Schenkellänge besteht. Die andere Elektrode wird durch einen kurzen Stift im Innern des Bleches gebildet. Durch diesen Aufbau der Lampe wird erreicht, daß praktisch nur bei einer Halbwelle ein Aufleuchten erfolgt.

Zur weiteren Veranschaulichung der Bildschärfe sind in den Abb. 5a bis 5 photographische Aufnahmen einer umlaufenden Zahl unter verschiedenen stroboskop

[1]) Vgl. W. H. Eccles und W. A. Leyshon, *Mechanical and electrical vibrations, Electricia* **97.** *Heft 65 und 72. 1926.*

schen Bedingungen wiedergegeben. Der Fall, daß eine umlaufende Zahl beobachtet werden muß, liegt praktisch vor, wenn ein umlaufendes Zählwerk während des Betriebes abgelesen werden soll. Für den Versuch war auf einer Scheibe die Zahl 385,74 angebracht. Diese Scheibe war auf der Welle eines Synchronmotors befestigt, der mit 25 Umdr. je Sek. umlief, und wurde mit einer (in der Abbildung rechts oben abgedeckten) Glimmlampe beleuchtet. In Abb. 5a wurde die Lampe in Blinkschaltung der bei Abb. 4 beschriebenen Art mit Steuertransformator betrieben. Die Blinkfrequenz der Lampe war hierbei durch geeignete Wahl von Spannung (240 V), Kapazität (1 μF) und Widerstand (100000 Ohm) auf 25 Lichtblitze je Sek. eingeregelt und wurde über den Steuertransformator vom Netz, das die doppelte Periodenzahl hatte, gesteuert. Unter diesen Bedingungen ergibt sich ein stroboskopisches Bild, das an Schärfe dem ruhenden Bilde kaum nachsteht. Bei Abb. 5b war unter sonst gleichen Verhältnissen die Blinkfrequenz auf 50 Lichtblitze je Sek. eingeregelt und wiederum vom Netz aus gesteuert. Man erhält jetzt zwei Bilder. Die Zahl ist noch gut lesbar, aber die Klarheit des Bildes ist geringer geworden; denn jedem einzelnen Bilde der Zahl entspricht am Orte des anderen Bildes ein unbeschriebener Scheibenteil. Während in Abb. 5a am Bildorte nur die Zahlen gesehen werden, hat man in Abb. 5b abwechselnd den Eindruck von Zahlen- und Scheibenbildern, der sich dem Auge als Zahlenbild von herabgesetzter Klarheit darbietet.

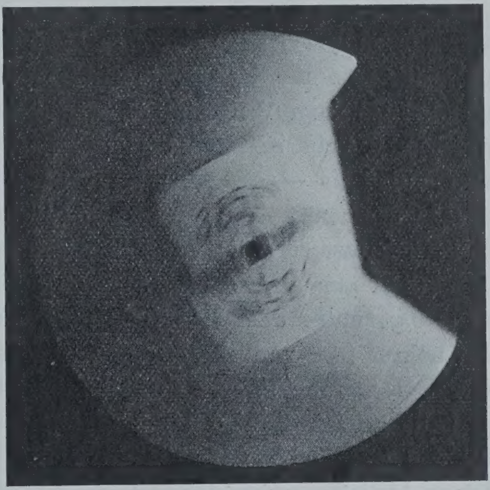


Abb. 5c. Lampe unmittelbar vom Netz gespeist. (Blinkfrequenz = 2 × Drehfrequenz des Motors.)

Den Bildeindruck, der entsteht, wenn die gleiche Wechselspannung wie zur Speisung des Synchronmotors auch zur Speisung der Glimmlampe verwendet wird, zeigt Abb. 5c. Es ergeben sich wieder zwei Bilder, die Zahlen sind kaum noch erkennbar. Die gegenüber den Abb. 5a und 5b etwas abweichende räumliche Stellung des Bildes erklärt sich damit, daß inzwischen die Scheibe abgenommen und wieder neu aufgesetzt worden war.

Bei allen drei Aufnahmen war die Lichtstärke der Lampe etwa gleich. Die Expositionsdauer betrug dreißig Minuten, so daß also jedes Bild durch 45000 Einzelbelichtungen zustande gekommen ist.

Zusammenfassung. Will man unter Benutzung stroboskopischer Erscheinungen Bewegungsvorgänge über längere Zeit beobachten, so besteht die Schwierigkeit, die Frequenz des Beobachtungshilfsmittels stets im Gleichtakt mit der Frequenz des zu beobachtenden Vorgangs zu halten. Es wird eine Anordnung beschrieben, die gestattet, in einem handlichen elektrischen Gerät den Rhythmus des intermittierenden Lichtes zwangläufig von dem zu beobachtenden Vorgang hervorrufen zu lassen. Verwendet wird dazu die bekannte Blinkschaltung unter Zusatz einer elektromagnetischen Steuerung.

Die Abplattung von Stahlkugeln und -zylindern durch den Meßdruck.

Von

Prof. Dr. **G. Berndt** in Dresden.

1. Einleitung. Nach den Beschlüssen des Ausschusses für Meßwesen im NDI[1]) gilt als Maß eines Körpers die Länge eines entsprechenden Parallelendmaßes, falls in beiden Fällen das Prüfmittel gleich tief eindringt, d. h. die Messungen mit dem Druck 0 ausgeführt werden. Ebenso entspricht die Definition der Länge eines Parallelendmaßes nach DIN 861 dem Ergebnis der Messung mit dem Druck 0.

Praktisch muß aber eine Messung (abgesehen von den Interferenzverfahren) stets unter einem gewissen Druck ausgeführt werden, um die zwischen Meßfläche und Prüfling anfänglich stets vorhandene Luft- oder sonstige Schicht wegzudrängen. Eine Messung mit dem Druck 0 würde deshalb stets zu falschen Ergebnissen führen.

Sind nun die zu messenden bzw. mit Parallelendmaßen zu vergleichenden Körper von ebenen Flächen begrenzt, so kann die Umrechnung auf die Länge beim Druck 0 mit Hilfe des Hookeschen Gesetzes erfolgen. Bei angenähert gleichem Querschnitt und bei gleichem Werkstoff (d. h. gleichem Elastizitätsmodul) von Prüfling und Vergleichsmaß hebt sich die Verkürzung durch den Meßdruck überhaupt fort. Da sie sehr gering ist — sie beträgt für Stahl nur 0,5 μ auf 1 m bei 1 kg Meßdruck und 1 cm^2 Querschnitt — so wird sie bei nicht gar zu geringem Querschnitt und zu hohem Meßdruck fast stets zu vernachlässigen sein.

Sind nun aber die Körper von gekrümmten Flächen begrenzt (Kugeln, Zylinder), so erfolgt unter dem Meßdruck noch ein gegenseitiges Eindringen von Prüfling und Meßbolzen (der von ebenen oder Kugelflächen begrenzt sein kann), d. h. eine gegenseitige Näherung ihrer Krümmungsmittelpunkte, die man als Abplattung bezeichnet, und die größere Beträge als die Hookesche Verkürzung erreicht, so daß sie sich selbst bei den geringen Meßdrucken der heutigen Präzisionsfühlhebel noch bemerkbar macht. Diese Abplattung ist demnach zu berücksichtigen, wenn Kugeln oder Zylinder bzw. Ausschnitte daraus mit Parallelendmaßen verglichen werden, gleichgültig ob die Meßbolzen der benutzten Geräte ebene oder gekrümmte Meßflächen haben. Nur beim Vergleich von Körpern mit einem Normal gleicher Gestalt fällt auch die Abplattung im Ergebnis heraus.

2. Die Hertzsche Theorie. Die Größe M der Abplattung hat Heinrich Hertz[2]) in einer genialen Arbeit theoretisch ermittelt. Für seine Ableitung macht er folgende Voraussetzungen:

a) Die Körper sind isotrop (was für Meßbolzen, Endmaße und Prüflinge aus Stahl stets genügend zutrifft).

b) Die Körper folgen dem Hookeschen Gesetz und die Beanspruchungen bleiben innerhalb der Proportionalitätsgrenze (dieser Punkt ist häufig übersehen, da bei kleinen Krümmungshalbmessern bereits bei geringen Drucken dauernde Deformationen auftreten können).

c) Die Kräfte wirken nur senkrecht zur Berührungsfläche (diese Voraussetzung ist nie streng erfüllt, da infolge der Verschiedenheit der Dehnungen in den einzelnen Elementen Seitenkräfte auftreten, worauf zuerst Stribeck[3]) hingewiesen hat.

---

[1]) *Mitt. d. Betriebstechn. Abt.* **3.** *S. 133. 1921.*

[2]) Heinrich Hertz, Ges. Werke. **1.** S. 155 u. 183.

[3]) Stribeck, *Zeitschr. d. Ver. D. Ing.* **45.** *S. 73. 1901.*

d) Die Druckflächen sind klein gegen die Gesamtflächen (was bei den technischen Messungen stets erfüllt ist)[1]).

Dann ergibt sich die Abplattung M zu

$$M = \frac{1}{z} \cdot \sqrt[3]{\frac{9 \cdot P^2 \cdot (\vartheta_I + \vartheta_{II})^2 \cdot (\varrho_{I1} + \varrho_{I2} + \varrho_{II1} + \varrho_{II2})}{512}} \text{ cm},$$

wobei bedeuten:

P Meßdruck in kg,

ϱ die reziproken Hauptkrümmungshalbmesser 1 und 2 der Körper I und II ($\varrho = 1/R$) in cm^{-1} (die beiden Hauptkrümmungsebenen 1 und 2 stehen stets senkrecht aufeinander),

ϑ die Elastizitätskoeffizienten der Körper I und II,

z einen Zahlenfaktor (s. unten).

Der Elastizitätskoeffizient ϑ berechnet sich aus dem Elastizitätsmodul E (für Stahl angenommen: $E = 2 \cdot 10^6$ kg/cm²) und dem Poissonschen Verhältnis m (Verhältnis der Einschnürung zur Dehnung; für Stahl angenommen: $m = 0{,}29$) aus der Beziehung

$$\vartheta = \frac{4}{E} \cdot (1 - m^2),$$

somit für Stahl zu

$$\vartheta = 1{,}832 \cdot 10^{-6}.$$

Die üblichen Schwankungen von E (bis $+10\%$ und $-2{,}5\%$) und von m (bis $+20\%$) können im ungünstigsten Fall die Abplattung M um $+1{,}7\%$ bis -9% ändern[2]).

Der Zahlenfaktor z ist eine transzendente Funktion eines Hilfswinkels τ, der aus der Beziehung

$$\cos \tau = \frac{A - B}{A + B}$$

folgt, in der bedeuten:

$$2 \cdot (A + B) = \varrho_{I1} + \varrho_{I2} + \varrho_{II1} + \varrho_{II2},$$

$$2 \cdot (A - B) = \sqrt{(\varrho_{I1} - \varrho_{I2})^2 + 2 \cdot (\varrho_{I1} - \varrho_{I2}) \cdot (\varrho_{II1} - \varrho_{II2}) \cdot \cos 2\,\omega + (\varrho_{II1} - \varrho_{II2})^2},$$

worin ω der Winkel ist, den die Hauptkrümmungsebenen 1 (oder 2) der Körper I und II bilden. Dabei ist ϱ positiv zu rechnen, wenn der Krümmungsmittelpunkt im Innern der Körper liegt, so daß bei konvexen Flächen ϱ positiv, bei konkaven dagegen negativ ist.

Die verschiedenen Werten von τ entsprechenden Werte von z sind aus folgender von Heinrich Hertz berechneten Tabelle zu entnehmen:

$\tau =$ 90°	80°	70°	60°	50°	40°	30°	20°	10°	0°
$z =$ 1,0000	1,1278	1,2835	1,4858	1,7542	2,1357	2,7307	3,7779	6,6120	∞

Die allgemeinen Formeln sollen nun auf die für die Meßtechnik wichtigen Sonderfälle (Werkstoff: Stahl) angewendet werden. Führt man noch statt der Hauptkrümmungen ϱ die Durchmesser D in mm ein und rechnet den Druck P weiter in kg, so gilt:

---

[1]) G. Berndt, *Zeitschr. f. Techn. Phys.* **5.** *S. 14. 1922.*

[2]) G. Berndt, a. a. O.

a) 1. Kugel gegen Kugel:

$$\tau = 90^0; \qquad z = 1;$$

$$M = 2{,}113 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot (D_I + D_{II})}{D_I \cdot D_{II}}}\,\mu.$$

2. Bei gleichen Durchmessern:

$$M = 2{,}663 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu.$$

b) 1. Kugel gegen Ebene:

$$\tau = 90^0; \qquad z = 1.$$

$$M = 2{,}113 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu.$$

[Der Zahlenfaktor hat also denselben Wert wie bei Kugel gegen Kugel verschiedenen Durchmessers, Fall a) 1.]

2. Kugel zwischen zwei Ebenen:

$$M = 4{,}226 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu.$$

c) 1. Unter dem Winkel ω gekreuzte Zylinder:

$$\cos\tau = \frac{\sqrt{D_I^2 + 2 \cdot D_I \cdot D_{II} \cdot \cos 2\,\omega + D_{II}^2}}{D_I + D_{II}},$$

$$M = \frac{1{,}901}{z} \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot (D_I + D_{II})}{D_I \cdot D_{II}}}\,\mu,$$

wobei z aus obiger Tabelle zu entnehmen ist.

2. Unter $\omega = 90^0$ gekreuzt:

$$\cos\tau = \frac{D_{II} - D_I}{D_{II} + D_I},$$

$$M = \frac{1{,}901}{z} \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot (D_I + D_{II})}{D_I \cdot D_{II}}}\,\mu.$$

3. Parallele Zylinder ($\omega = 0$):

$$\tau = 0; \qquad z = \infty; \qquad M = 0.$$

Der Sinn dieses Ergebnisses ist aber nicht, daß hier die Abplattung M tatsächlich verschwindet, sondern daß sie noch bedingt ist durch die Länge der gemeinsamen Berührung.

d) 1. Unter dem Winkel ω gekreuzte Zylinder von gleichem Durchmesser:

$$\tau = \omega,$$

$$M = m' \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu,$$

wobei m' aus nachstehender Tabelle folgt:

$\omega =$	90⁰	80⁰	70⁰	60⁰	50⁰	40⁰	30⁰	20⁰	10⁰	0⁰
$m' =$	2,113	1,873	1,646	1,422	1,205	0,989	0,774	0,559	0,320	0,000.

2. Unter $\omega = 90^0$ gekreuzt:

$$M = 2{,}113 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}.$$

(M hat also denselben Wert wie im Fall b) 1.: Kugel gegen Ebene);

3. Parallele Zylinder ($\omega = 0$):

$$M = 0$$

[s. Fall c) 3.].

e) Zylinder gegen Ebene: Setzt man in Gleichung c) 1:

$$D_{II} = \infty,$$

so wird

$$\cos \tau = \frac{0}{0},$$

also unbestimmt. Auch hier gilt, wie im Fall c) 3, daß die Abplattung noch von der Berührungslänge abhängt.

Die Abplattung zweier paralleler Zylinder oder, was für die Meßtechnik wichtiger, die eines Zylinders zwischen zwei Ebenen ist somit aus der Hertzschen Theorie nicht mehr zu ermitteln (wohl aber läßt sich noch die Breite der Berührungsfläche berechnen).

3. Die Prüfung der Hertzschen Theorie (bisherige Arbeiten).

Die Abplattung von Kugeln ist verschiedentlich durch Versuche bestimmt und mit den aus den Hertzschen Formeln folgenden Werten verglichen. Eine kritische Durcharbeitung der bis zum Jahre 1920 erschienenen Arbeiten hatte zu dem Ergebnis geführt[1]), daß die Hertzsche Theorie die Abplattung mit einer Genauigkeit von etwa 10% zu berechnen gestattet, daß also vor allem die Abhängigkeit der Abplattung M von $P^{2/3}$ und $D^{-1/3}$ streng erfüllt ist, falls die anfangs aufgeführten vier Voraussetzungen erfüllt waren, also zum mindesten die Elastizitätsgrenze nicht überschritten wurde. Dazu muß bei Kugeln vom Durchmesser 1 mm der Druck möglichst unter 50 g, vom Durchmesser 2 und 3 mm unter 200 g bleiben und darf erst bei 4 mm Durchmesser auf 1 kg und von 10 mm Durchmesser ab auf 7,5 kg steigen. Bei Zylindern kann man dagegen bereits von 1 mm Durchmesser ab Meßdrucke von 1 kg und mehr nehmen.

An neueren Versuchen liegen nur die des National Physical Laboratory in Teddington[2]) an Kugeln und Zylindern zwischen zwei Ebenen vor, deren Ergebnisse nur sehr kurz, in Diagrammen, ohne Angabe von Zahlenwerten mitgeteilt sind. Sie bestätigen für Kugeln gleichfalls den durch die Hertzschen Formeln gegebenen funktionellen Zusammenhang der einzelnen Größen, geben aber 1921 an, daß der Zahlenfaktor um —4,2%, und 1923, daß er um —16,2% zu ändern sei[3]).

Für die Abplattung von Zylindern wird nur mitgeteilt, daß sie proportional der Belastung P ist und von der Größe der Meßlänge abhängt. Zahlenwerte sind nur für einen Zylinder von 0,05″ Durchmesser aus dem Schaubild zu entnehmen. Sie sind aber nicht zu verwerten, da die Größe der Meßfläche bzw. die Drahtlänge nicht angegeben ist. Über die Abhängigkeit der Abplattung vom Zylinderdurchmesser ist nichts mitgeteilt.

---

[1]) G. Berndt, *Zeitschr. f. Techn. Phys.* **3.** *S. 14, 82. 1922.*

[2]) *Nat. Phys. Labor. Report 1921 und 1923.*

[3]) Anm. bei der Korrektur. Damit stehen auch die Angaben von Pérard und Maudet (*Trav. et Mém. de Bur. Int. des Poids et Mesures* **17**, *1927*) in Einklang.

4. Versuchsanordnung. Deshalb unternahm es H. Bochmann[1]), die Abplattung von Stahlzylindern zwischen zwei Stahlflächen durch den Versuch zu bestimmen und zugleich — auch zur Prüfung der Apparatur — die Abplattung von Stahlkugeln für denselben Berührungsfall zu untersuchen. Vorgesehen war, da das Hauptaugenmerk auf die Zylinder gerichtet werden sollte, die Abplattung an Prüflingen von 1 bis 10 mm Durchmesser unter Drucken von 1 bis 10 kg zu ermitteln.

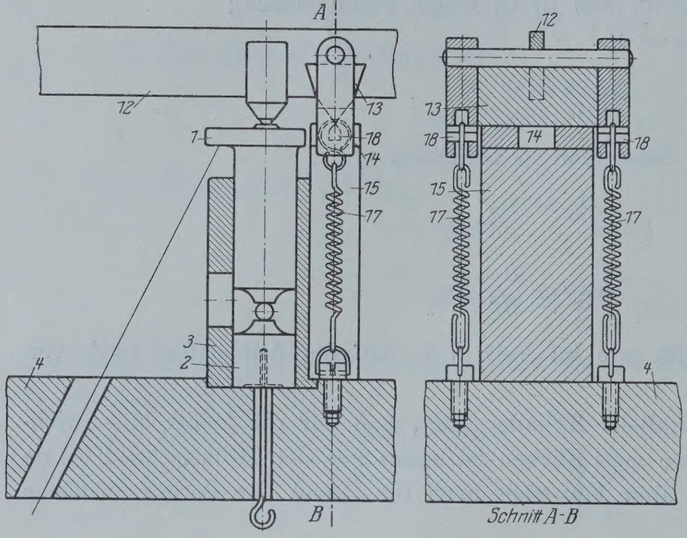


Abb. 1.

Der benutzte Apparat ist in Abb. 1 und 2 dargestellt. Der Prüfling liegt zwischen den Stempeln (*1*) und (*2*) mit gut ebenen Flächen, von denen (*1*) durch die Buchse (*3*) geführt ist, und (*2*) in der Mitte einer auf drei Füßen (*5*) ruhenden Stahlplatte (*4*) liegt. Die Belastung erfolgt durch Schrot in der Schale (*9*), die an dem Stempel (*1*) mit drei Drähten aufgehängt ist. Damit durch das Einbringen des Schrots nicht eine (die zu erwartende Abplattung wesentlich übersteigende) Durchbiegung der Platte (*4*) hervorgerufen wird, liegt es bereits zu Beginn der Versuche in der Schale (*8*), die an dem Stempel (*2*) hängt, so daß die Platte (*4*) und der Stempel (*2*) während der ganzen Versuche stets unter gleicher Belastung stehen. Soll der Prüfling dem Meßdruck ausgesetzt werden, so läßt man nur das Schrot aus der Schale (*8*) in die Schale (*9*) fließen.

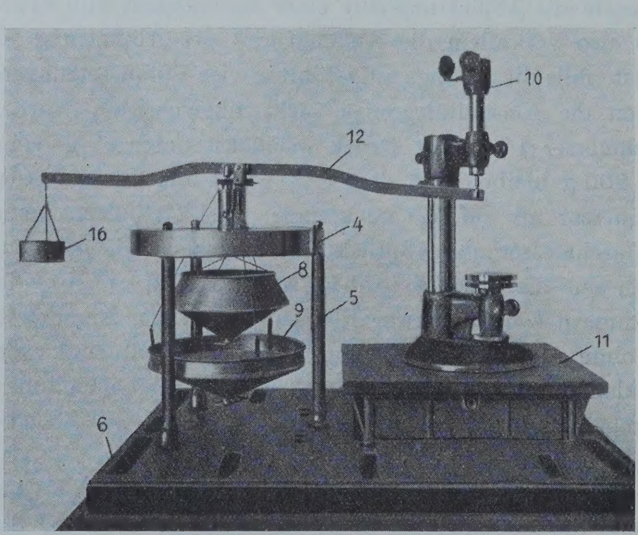


Abb. 2.

Die Messung der Abplattung erfolgte mittels des Optimeters (*10*), auf dessen Meßbolzen der Hebel (*12*) einwirkte; seine Übersetzung wurde zu 1 : 18,25 bestimmt. Er ruhte auf zwei auswechselbaren Parallelstücken (*14*) mittels der Schneide (*13*), die durch zwei Zugfedern (*17*) dagegen gepreßt wurde, die ihrerseits an zwei kleinen, genau in Verlängerung der Schneide (*13*) liegenden Schneiden (*18*) angriffen. Diese Anordnung hat sich sehr gut bewährt.

Der Hebel (*12*) ruht ferner mit einer Stahlkugel auf der Mitte des Stempels (*1*),

[1]) H. Bochmann, Diss. Techn. Hochschule Dresden, 1927; *Feinmechanik u. Präzision.* **35.** *S. 95 ff. 1927.*

trägt an seinem rechten Ende in gleicher Höhe eine zweite Stahlkugel (unter der ebenen Meßfläche des Meßbolzens des Optimeters) und an seinem linken Ende eine Kimme (in gleichfalls derselben Höhe), in der eine Schale zur Aufnahme von Schrot für die Einregulierung der Vorbelastung hängt; diese ist notwendig, um von vornherein eine innige Berührung zwischen Prüfling und Stempelflächen zu sichern.

Die aus Optimeterausschlag und Hebelübersetzung errechneten Werte stellen aber nicht unmittelbar die Abplattung dar; es sind daran vielmehr noch verschiedene Korrektionen anzubringen:

a) Wegen der elastischen Zusammendrückung der Stempel (*1*) und (*2*), die durch die Verlegung der Last vom unteren Ende von (*2*) an das obere Ende von (*1*) hervorgerufen wird; sie wurde experimentell bestimmt.

b) Wegen Änderung der Abplattung der auf dem Stempel (*1*) aufliegenden Kugel des Hebels infolge Änderung des Meßdrucks des Optimeters mit dem Ausschlag (12 g über die ganze Skala von 200 Teilen); sie wurde rechnerisch auf Grund der Hauptversuchsergebnisse ermittelt.

c) Wegen Änderung der Abplattung der Kugel am rechten Hebelende aus denselben Gründen; sie konnte vernachlässigt werden.

d) Wegen der Durchbiegung des Hebels durch die Änderung des Optimeterd rucks sie wurde experimentell bestimmt.

5. Versuche an Stahlkugeln zwischen zwei Stahlebenen. Die Abplattung wurde an vier genau gemessenen Stahlkugeln von 2 bis 10 mm Durchmesser (bei 1 mm bewirkte die Vorbelastung von 1,5 kg bereits eine dauernde Deformation) und einer Halbkugel von 3 mm Durchmesser bei je sechs Belastungen von 1 bis 10 kg bestimmt. Die Optimeterausschläge schwankten bei jeder Versuchsreihe um höchstens $\pm$ 0,1 Skt. Die Versuche ergaben, daß die Abplattung proportional zu $P^{2/3}$ und proportional zu $D^{-1/3}$ waren (s. Abb. 3), bestätigten also die durch die Hertzsche Theorie gegebene funktionelle Abhängigkeit der Abplattung vom Meßdruck und vom Kugeldurchmesser. Sie zeigten aber ferner, daß die aus der Hertzschen Theorie berechneten Zahlenfaktoren [siehe Fall b 2)] um 9,51% zu verringern waren. Der neue Zahlenfaktor 3,825 für den Fall der Kugel zwischen zwei Ebenen wurde mit einer Genauigkeit (mittlerer Fehler) von $\pm$ 0,05% bestimmt, während die größten Abweichungen zwischen den Einzelwerten $\pm$ 0,5% betrugen[1]).

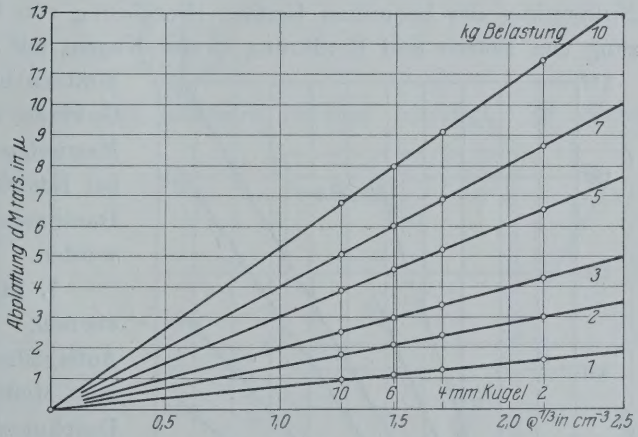


Abb. 3.

6. Stahlkugel in einer V-Nut aus Stahl.

Bei der Bestimmung des Flankendurchmessers von Gewinden mittels kugelförmigen Meßstücken bewirkt die Abplattung M_n an den Gewindeflanken ein tieferes

[1]) Nach mehr als einem Jahre mit einer Kugel von 4 mm Durchmesser wiederholte Versuche ergaben Übereinstimmung bis auf 0,06% mit obigem Wert, obwohl es sich dabei um eine in den laufenden praktischen Übungen durchgeführte Messung handelte.

Eindringen in die Gewindelücke, wodurch das Meßergebnis zu klein wird. Die Korrektur k berechnet sich nach Abb. 4 zu

$$k = \frac{M_n}{\sin \alpha/2}.$$

Die Versuche wurden mit Kugeln von 3 und 4 mm Durchmesser und Belastungen von 1 bis 7 kg so durchgeführt, daß in den unteren Stempel (*2*) eine Nut von 60°, mit den Krümmungshalbmessern $R_1 = \infty$ und $R_2 = 75{,}0$ mm (gemessene Werte), eingeschliffen wurde. Die an der ebenen Fläche des oberen Stempels (*1*) erfolgende Abplattung wurde auf Grund der vorherigen Ergebnisse berücksichtigt. Bei diesen Versuchen ergab sich der Zahlenfaktor um 7,5% kleiner als vorher bei den Versuchen mit einer Kugel zwischen zwei Ebenen, was auf die Reibung an den Nutwandungen zurückzuführen ist. Aus diesem Unterschied berechnet sich der Reibungskoeffizient zu etwa 0,07. Infolge der Reibung stieg auch der mittlere Fehler des Zahlenfaktors in diesem Fall auf ± 0,25% und die größte Abweichung zwischen den einzelnen Versuchen auf ± 0,9%.

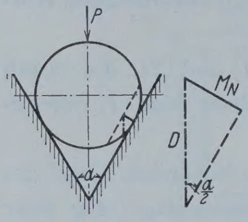


Abb. 4.

Man ersieht daraus, daß man auch die Abplattung der Kugeln bei der Messung von Gewinden mit Hilfe der korrigierten Hertzschen Formeln berechnen kann, nur wird man sie der Reibung wegen um 7,5% kleiner ansetzen müssen. Eine Zahlentafel für die durch die Abplattung an den Gewindeflanken und bei der Bestimmung des Nullpunktes des benutzten Gerätes (Berührung von Kugel gegen Kugel bei der Messung von Bolzen und Berührung zweier Kugeln mit einer Ebene bei der Messung von Muttern) bewirkte Korrektion für Withworth-Gewinde nach DIN 11 und 12 sowie für Metrisches Gewinde nach DIN 13 und 14 bei Benutzung von Kugeln vom günstigsten Durchmesser[1]) wird später veröffentlicht werden.

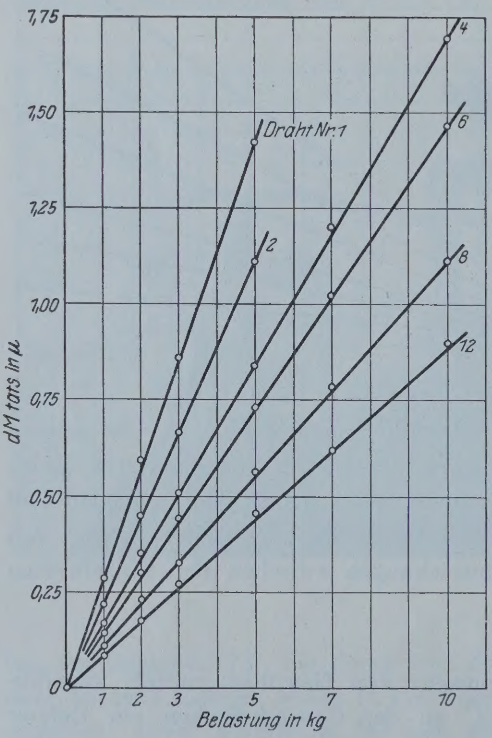


Abb. 5.

7. Stahlzylinder zwischen zwei Stahlebenen. Um den Einfluß der Größe der Auflageflächen zu erfassen, wurden Stempel mit Meßflächen von 6, 8 und 15 mm Durchmesser bei Belastungen von 1 bis 10 kg verwendet. Zunächst kamen 12 Drähte von 0,18 bis 5,70 mm Durchmesser zur Untersuchung, wie sie bei der Bestimmung des Flankendurchmessers nach der Dreidrahtmethode gebraucht werden. Bei einer Gesamtlänge von 50 mm sind sie auf dem mittleren, etwas abgesetzten Teil, der zur Messung dient, poliert. Ihre Durchmesser wurden mittels Optimeters und des zugehörigen Hilfstisches für Drahtmessungen bestimmt, wobei die Abplattungen (unten an

[1]) Siehe G. Berndt, Die Gewinde. Berlin, Julius Springer 1925, und erster Nachtrag dazu: Berlin 1926.

gekreuzten Zylindern, oben an Zylinder und einer Ebene) in Rechnung gesetzt wurden. Die Messungen der Abplattung waren hier schwieriger als bei den Kugeln, vor allem durch kleine Krümmungen der Drähte veranlaßt. Immerhin schwankten die Optimeterausschläge um nicht mehr als $\pm$ 0,2 Skt. in jeder Versuchsreihe.

Unter Benutzung der Stempel mit 6 mm Meßflächendurchmesser, denen gegenüber die Drähte als unendlich lang zu betrachten sind (Verhältnis Drahtlänge : Meßflächendurchmeser etwa 8 : 1), ergab sich, daß die Abplattung proportional dem Meßdruck P (siehe Abb. 5) und, wie bei den Kugeln, proportional $D^{-1/3}$ (s. Abb. 6) war. Weitere Versuche mit den anderen Stempeln (an 3 bis 4 Drähten ausgeführt) zeigten, daß die Abplattung umgekehrt proportional dem Meßflächendurchmesser (Abb. 7) bzw. der aufliegenden Drahtlänge L (Abb. 8) war. Insgesamt ergab sich also

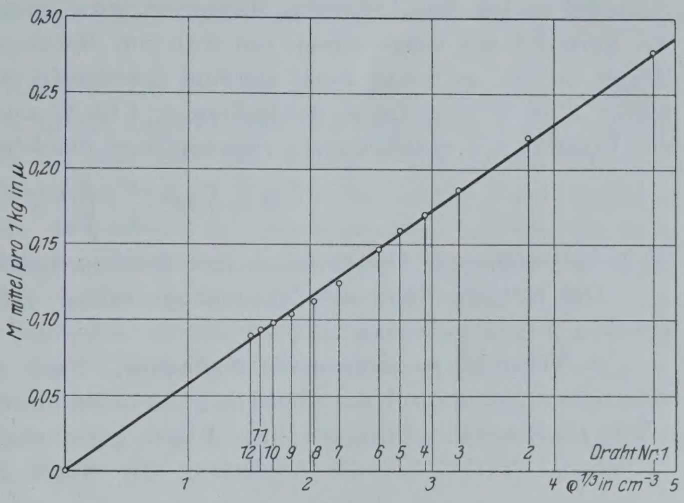


Abb. 6.

$$M \text{ prop. } \frac{P}{L} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{D}}.$$

Diese Beziehung wurde dann weiterhin an kürzeren Drähten bestätigt. Zu diesen

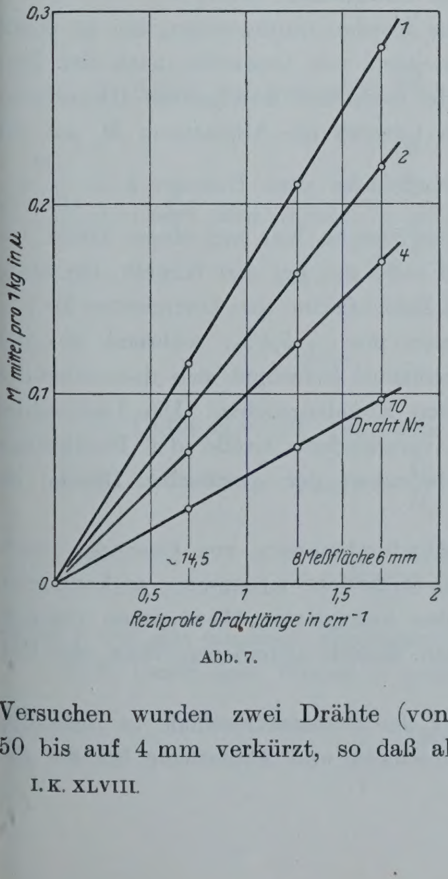


Abb. 7.

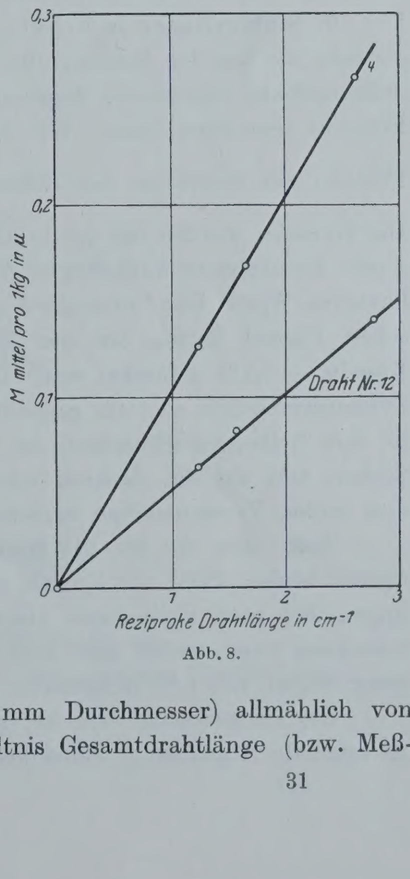


Abb. 8.

Versuchen wurden zwei Drähte (von 0,8 und 5,7 mm Durchmesser) allmählich von 50 bis auf 4 mm verkürzt, so daß also das Verhältnis Gesamtdrahtlänge (bzw. Meß-

flächendurchmesser) : aufliegenden Drahtlänge von 8 : 1 bis 1 : 4 variiert wurde; dabei ergaben sich auch stets dieselben Werte für den Proportionalitätsfaktor.

Dies gilt weiterhin auch für einseitig über die Meßflächen hinausragende Drähte (während sie bei den bisherigen Messungen stets symmetrisch dazu gelegen hatten), wie Versuche mit einem Draht von 0,60 mm Durchmesser und aufliegenden Drahtlängen von 14 bis 5 mm, sowie mit fünf Lehrdornen mit Griff (Durchmesser der Meßzapfen 1 bis 10 mm; Länge der Meßzapfen 4 bis 10 mm) lehrten. Das Gesamtergebnis der Versuche mit Stahlzylindern zwischen zwei Stahlebenen lautet:

$$M = 0{,}923 \cdot \frac{P}{L} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{D}}\,\mu$$

(P in kg, aufliegende Drahtlänge L und Drahtdurchmesser D in mm).

Der mittlere Fehler des Zahlenfaktors betrug $\pm$ 0,34%, die größte Abweichung zwischen den Einzelwerten $\pm$ 4%.

8. Versuche an gekreuzten Zylindern. Nach der früher für den Fall d) 2 mitgeteilten Formel soll die Abplattung für zwei unter 90° gekreuzte Zylinder vom selben Durchmesser gleich der einer Kugel gegen eine Ebene sein [Fall b) 1]. Um zu sehen, ob der für die Abplattung der Kugel früher gefundene Zahlenfaktor $\frac{1}{2} \cdot 3{,}825 = 1{,}913$ (statt 2,113 nach der Hertzschen Theorie) auch für gekreuzte Zylinder gilt, wurden entsprechende Abplattungsversuche an zwei halbzylindrischen Meßschnäbeln von 10 mm Durchmesser angestellt. Der dafür gefundene Faktor 1,899 weicht nur um 0,75% von dem früher an den Stahlkugeln ermittelten ab. Bei der Schwierigkeit der Messung der Abplattung von Zylindern kann dieses Ergebnis als eine sehr gute Bestätigung aufgefaßt werden, zumal die beiden Prüflinge nur nach dem Auge senkrecht zueinander ausgerichtet wurden, und wenn man berücksichtigt, daß die Werkstoffe in den beiden Versuchsreihen verschieden waren.

9. Stahlzylinder in V-Nut. Diese Versuche wurden durchgeführt, um zu sehen, ob man die bei der Messung des Flankendurchmessers von Gewinden nach der Dreidrahtmethode eintretende Abplattung der Drähte nach den korrigierten Hertzschen Formeln berechnen kann. Wie bei den Kugeln bewirkt die Abplattung M_n an den Flanken ein Einsinken der Drähte in die Gewindelücke vom Betrage $k = \frac{M_n}{\sin \alpha/2}$. Die Versuche wurden mit der in Abschnitt 6 beschriebenen Nut mit einem Draht von 4 mm Durchmesser ausgeführt. Auch hier ergab sich, wie bei den Kugeln, ein etwas kleinerer Wert. Der Unterschied gegenüber dem Zahlenfaktor der korrigierten Hertzschen Formel betrug bei den Zylindern indessen nur — 5,4%, während bei den Kugeln — 7,5% gefunden war. Der Reibungskoeffizient berechnet sich daraus bei den Zylinderversuchen zu 0,05 gegenüber 0,07 bei den Kugelversuchen. Der Unterschied in den Reibungskoeffizienten ist wohl auf die verschiedene Größe der Berührungsflächen und auf die dadurch veranlaßte Verschiedenheit der spezifischen Drucke bei den beiden Versuchsreihen zurückzuführen.

Faßt man die für die Messung des Flankendurchmessers von Gewinden wichtigsten beiden Fälle von Kugeln und Zylinder als Meßstücke zusammen, so kann man sagen, daß man auch diese Abplattung nach den korrigierten Hertzschen Formeln berechnen kann, wobei man aber zweckmäßig den danach gefundenen Wert, der Reibung wegen, um 6% verkleinert.

Die entsprechend wie bei den Kugeln bei der Dreidrahtmethode in Rechnung zu setzende Abplattung (Einsinken in die Gewindelücke und Abplattung bei der Be-

rührung der Drähte mit den ebenen Meßflächen der benutzten Geräte, wie Schraubenmikrometer, Meßmaschine oder Fühlhebel) für Withworth-Gewinde nach DIN 11 und 12 sowie für Metrisches Gewinde nach DIN 13 und 14, bei Benutzung von Drähten vom günstigsten Durchmesser, werden gleichfalls später in Tabellenform bekannt gegeben werden.

10. Zusammenfassung. Die Versuche des National Physical Laboratory an Stahlkugeln zwischen zwei Ebenen hatten ergeben, daß der Zahlenfaktor, der aus der Hertzschen Theorie folgt, um 4,2 oder nach der letzten Mitteilung um 16,2% zu verkleinern war. Nach den Versuchen von H. Bochmann beträgt diese Änderung — 9,5%. Wenn man beachtet, daß infolge der Verschiedenheit der der Rechnung zugrunde gelegten Materialkonstanten (Elastizitätsmodul und Poissonsches Verhältnis) der Betrag der Abplattung um + 1,7% bis — 9% schwanken kann, so darf man wohl sagen, daß die beiden Ergebnisse praktisch übereinstimmen. Bei der großen Sorgfalt, mit der die Versuche von H. Bochmann durchgeführt sind, wird man zweckmäßig die von ihm bestimmte Korrektur von — 9,5% annehmen können. Somit ergeben sich zum Schluß folgende Formeln für die Berechnung der Abplattung in den für die Meßtechnik wichtigsten Fällen:

a) 1. Kugel gegen Kugel:

$$M = 1{,}913 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot (D_I + D_{II})}{D_I \cdot D_{II}}}\,\mu.$$

2. Bei gleichem Durchmesser:

$$M = 2{,}409 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu.$$

b) 1. Kugel gegen eine Ebene:

$$M = 1{,}913 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu.$$

2. Kugel zwischen zwei Ebenen:

$$M = 3{,}825 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu.$$

c) 1. Unter dem Winkel ω gekreuzte Zylinder:

$$\cos\tau = \frac{\sqrt{D_I^2 + 2 \cdot D_I \cdot D_{II} \cdot \cos 2\omega + D_{II}^2}}{D_I + D_{II}},$$

$$M = \frac{1{,}720}{z} \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot (D_I + D_{II})}{D_I \cdot D_{II}}}\,\mu.$$

2. Unter $\omega = 90^0$ gekreuzte Zylinder:

$$\cos\tau = \frac{D_{II} - D_I}{D_{II} + D_I},$$

$$M = \frac{1{,}720}{z} \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2 \cdot (D_I + D_{II})}{D_I \cdot D_{II}}}\,\mu,$$

wobei z aus den eingangs gegebenen Tabellen zu entnehmen ist.

d) 1. Unter dem Winkel ω gekreuzte Zylinder von gleichem Durchmesser:

$$M = m' \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu,$$

wobei m' aus nachfolgender Tabelle zu entnehmen:

$\omega =$	90^0	80^0	70^0	60^0	50^0	40^0	30^0	20^0	10^0
$m' =$	1,913	1,695	1,489	1,217	1,090	0,895	0,700	0,506	0,289

2. Unter 90^0 gekreuzte Zylinder bei gleichem Durchmesser:

$$M = 1{,}913 \cdot \sqrt[3]{\frac{P^2}{D}}\,\mu\,.$$

e) Zylinder zwischen zwei Ebenen:

$$M = 0{,}923 \cdot \frac{P}{L} \cdot \sqrt[3]{\frac{1}{D}}\,\mu\,.$$

Dabei sind Kugel- bzw. Drahtdurchmesser D, aufliegende Drahtlänge L in mm und der Meßdruck P in kg einzusetzen.

Für die für die Meßtechnik wichtigsten Fälle der Abplattung M_k einer Stahlkugel zwischen zwei ebenen Meßflächen aus Stahl und der Abplattung M_z eines Stahlzylinders zwischen zwei ebenen Meßflächen aus Stahl ergeben sich folgende Werte für $P = 1$ kg bei Kugeln und $P/L = 1$ kg/1 mm bei Zylindern:

$D =$	0,1	0,2	0,5	1	2	5	10	20	50	100	200	500	1000 mm
$M_k =$	8,2	6,5	4,8	3,8	3,0	2,2	1,8	1,4	1,0	0,8	0,65	0,5	0,4 μ
$M_z =$	1,99	1,57	1,15	0,92	0,73	0,54	0,43	0,34	0,25	0,20	0,16,	0,12	0,09 μ.

Zur Maxwell-Thomsonschen Methode der absoluten Kapazitätsbestimmung.

Von

R. Skancke in Trondhjem.

Bekanntlich ist die Methode von Maxwell zur absoluten Messung einer Kapazität durch Ohmschen Widerstand bisher die zuverlässigste für diesen Zweck.[1])

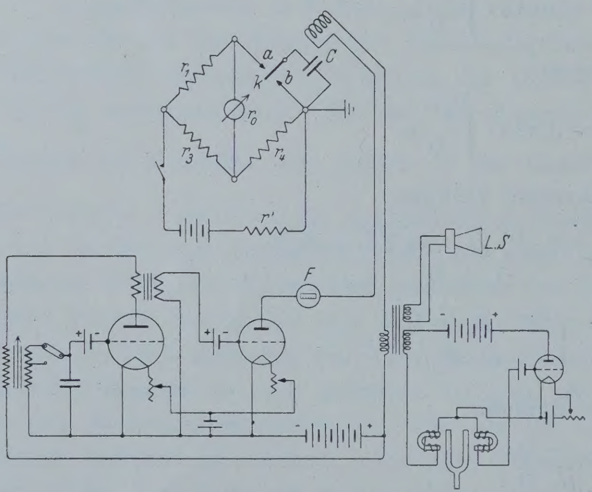


Abb. 1.

Die Methode beruht darauf, daß der Kondensator C (Abb. 1) mit Hilfe eines Unterbrechers K mit der Periodenzahl n abwechselnd an die Punkte a und b gelegt wird und dadurch periodisch aufgeladen und kurzgeschlossen wird.

Wenn die Brücke abgeglichen ist, fließen in jeder Periode zwei gleiche aber entgegengesetzt gerichtete Elektrizitätsmengen durch das Galvanometer. Hat das Galvanometer genügend große Eigenschwingungsdauer, so bleibt es in Ruhe, und es gilt dann zur Bestimmung der Kapazität die folgende Gleichung:

$$C = \frac{r_3}{n\,r_1\,r_4}\left[\frac{1 - \dfrac{r_3^{\,2}}{(r_3 + r_4)(r_1 + r_3 + r_0)}}{1 + \dfrac{r_3 \cdot r_0}{r_4\,(r_1 + r_3 + r_0)}}\right]. \qquad 1)$$

---

1) E. Giebe, *diese Zeitschr.* ***29****. S. 269. 301. 1909.* — H. Diesselhorst, *Ann. d. Phys.* ***19****. S. 382. 1906.* — W. Jaeger, Elektrische Meßtechnik.

Dabei ist der Widerstand r' im Batteriezweig vernachlässigt worden, was meistens zulässig ist.

Bei zweckmäßiger Wahl der Widerstände und der Periodenzahl findet man mit großer Annäherung die Kapazität nach der Formel

$$C = \frac{r_3}{n\, r_1 \cdot r_4}. \qquad 2)$$

Die Methode gibt den Wert der Kapazität für eine spezielle — nahezu rechteckige Kurvenform — und für eine bestimmte Grundfrequenz. Eindeutige Werte der Kapazität erhält man daher nur wenn die zu messenden Kondensatoren von der Kurvenform und der Frequenz unabhängig sind.

Die in dieser Arbeit gemessenen Kondensatoren waren Luftkondensatoren nach den Modellen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, die praktisch verlustlos sind. Die Kapazitätswerte dieser Kondensatoren sind daher unabhängig von der Kurvenform und der Frequenz.

Bei der Durchführung dieser Methode stößt man auf eine Schwierigkeit, nämlich die Herstellung eines zuverlässigen Unterbrechers mit einer absolut konstanten Periodenzahl. Es ist der Zweck dieser Abhandlung, zu zeigen, wie man mit den neueren technischen Hilfsmitteln besonders die Verstärkerröhren über diese Schwierigkeit hinwegkommt.

Mit der starken Entwicklung der Hochfrequenztechnik wachsen auch die Forderungen an die meßtechnischen Hilfsmittel, und man kann wohl sagen, daß es in jedem Hochfrequenzlaboratorium ein Bedürfnis nach einer Apparatur besteht, welche die sichere Durchführung der eben beschriebenen absoluten Kapazitätsbestimmung gestattet.

Bisher war der von Giebe (loc. cit.) konstruierte rotierende Unterbrecher und Tourenregler wohl die einzige Anordnung, mit welcher man die Genauigkeit der gewöhnlichen Präzisionswiderstände voll ausnutzen konnte. Indessen sind nur wenige Laboratorien im Besitz einer solchen Anordnung. Als der Hauptgrund hierfür ist wohl die teuere und ziemlich schwierige Herstellung dieser Anordnung anzusehen.

Im Folgenden sind zwei Ausführungsformen des Unterbrechers beschrieben, welche für den erwähnten Zweck sehr gut brauchbar sind und außerdem die Vorteile haben, billig und leicht herstellbar zu sein. Die beiden Einrichtungen werden in der Beschreibung „Vibrationsrelais“ und „Phonisches Rad mit Unterbrecher“ genannt.

Das Vibrationsrelais.

Diese Form des Unterbrechers ist in Abb. 2a und 2b dargestellt. Das Vibrationsrelais besteht aus einer schwingenden Stahlfeder f (0,3 mm dick), die von einem Elektromagneten beeinflußt wird. An beiden Seiten der schwingenden Feder sind zwei Bronzefedern angebracht, welche die Gegenkontakte aus Platin tragen. Diese Federn sind mit kleinen Stückchen Klavierfilz g abgedämpft. Der Elektromagnet wird erregt von einem gewöhnlichen Schwingungsgenerator, dessen Schaltung in der Abb. 1 angegeben ist. Die Eigenschwingungszeit der Feder f wurde mittels eines verschiebbaren Gewichtes p so eingestellt, daß sie etwas größer war als die Periodendauer der magnetischen Zugkräfte. Indem die Feder f in den beiden Außenstellungen mit den Platinstiften der beiden Bronzefedern s in Berührung kommt, wird die schwingende Länge der Feder etwas verkürzt, wodurch die Periodendauer abnimmt. Die schwingende Feder arbeitet sich so von selbst mehr und mehr in Resonanz mit den Feldkräften, und man sieht leicht ein, daß auf diese Weise eine gewisse Stabilität der Schwingung erreicht wird. Infolge-

dessen werden die Zeitpunkte für die Kontaktschließungen in genau gleichen Abständen erfolgen, was für eine ruhige Nullage des Galvanometers von Bedeutung ist.

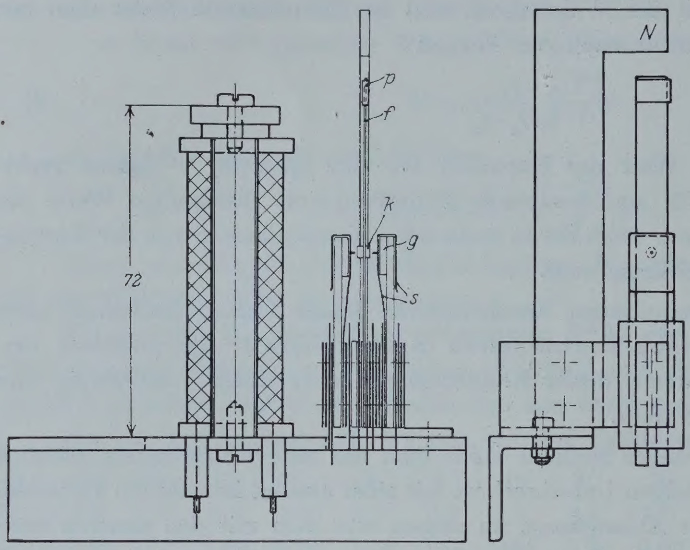


Abb. 2a. Vibrationsrelais.

Abb. 3 zeigt ein Oszillogramm des Unterbrechers, aus welchem die Kontaktdauer im Verhältnis zur Periodendauer hervorgeht. Die Feder gibt, wie man sieht, eine absolut sichere und vibrationsfreie Kontaktschließung. Mit Hilfe eines Telephons in der Zuleitung zur Feder f läßt sich dies auch ohne oszillographische Untersuchung leicht kontrollieren, da jede Prellung an den Kontakten den reinen Ton stören würde. Ist die Feder einmal richtig eingestellt, und dies ist leicht zu erreichen, so läuft die Anordnung stundenlang ohne Nachregulierung.

Die Federn s und f sind mit Glimmer-Blättchen voneinander isoliert. Diese ragen etwas vor den Metallzwischenlagen hervor, um eine möglichst große isolierende Oberfläche zu erzielen. Nach der Theorie sollte ein kleiner Isolationsfehler am Unterbrecher bei der Messung ohne Bedeutung sein, weil dieser, sowohl bei der Messung der betreffenden Kapazität, wie bei der Messung der „Schaltungskapazität“ eingeht und zwar so, daß er aus dem Meßresultat herausfällt. Hierzu ist aber zu bemerken, daß diese Überlegung einen während der Messung völlig konstanten Isolationswiderstand voraussetzt. Bedenkt man, daß ein Kondensator von der Größenordnung der Schaltungskapazität, welche hier etwa 20 $\mu\mu F$ beträgt, bei den hier angewandten Frequenzen von 48,344 bzw. 54,387 Per/sec einen Blindwiderstand von rund $3{,}10^6$ Ohm besitzt, so sieht man, daß eine Bestimmung dieser Kapazität mit einer Genauigkeit von 1—2 $^0/_0$ eine vorzügliche Isolation verlangt. Bei den Versuchen traten anfangs scheinbare Änderungen der Schaltungskapazität von 18—22 $\mu\mu F$ auf. Der

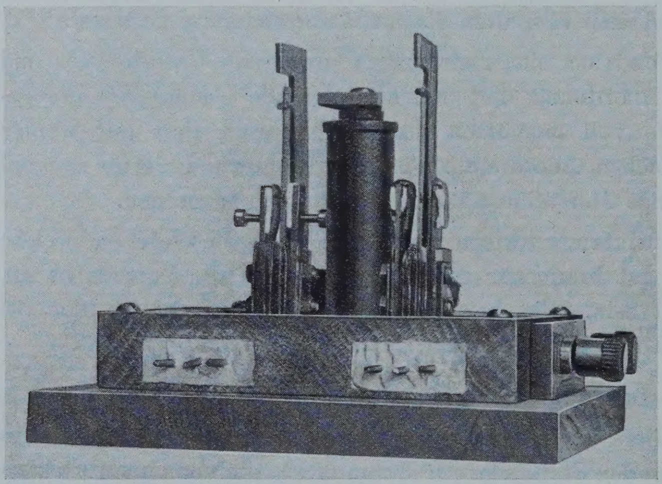


Abb. 2b. Vibrationsrelais.

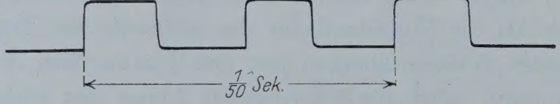


Abb. 3.

Grund hierfür war, daß die Zuleitung zu der Feder f bei dieser Messung abgeschaltet wurde und auf der Oberfläche des mit Ebonit isolierten Unterlages ruhte. Man stellt am besten den Unterbrecher unter eine Glasglocke mit trockener Luft und läßt die Zuleitung zur Feder f bei der Messung der Schaltungskapazität frei in die Luft endigen.

Die Bestimmung der Frequenz geschieht mit Hilfe einer Stimmgabel, welche in bekannter Schaltung von einer Vakuumröhre zum Selbstschwingen angeregt wird. Die bei der Messung verwandte Stimmgabel hat eine Frequenz von 435,10 Per/sec bei 15° C und wurde mit einer von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geeichten Normalgabel verglichen. Nach der bekannten Schwebungsmethode wurde die 8te bzw. 9te Oberschwingung des Röhrengenerators mit der Grundschwingung der Stimmgabel zur Interferenz gebracht. Einige Minuten nach der Einschaltung des Röhrengenerators waren die Schwingungen völlig konstant. Man war dann imstande, während einer Messung die Konstanz auf $\pm$ 0,05 Per. in 435 festzustellen. Der Unterbrecher, dessen Feder gezwungene Schwingungen ausführt, liefert somit eine sekundliche Kontaktzahl, welche mit einer Genauigkeit von etwa $\pm 0{,}1^0/_{00}$ bekannt ist.

Mit dieser Anordnung kann man also die Genauigkeit der Methode voll ausnützen, wenn man gewöhnliche Präzisionswiderstände als Vergleichswiderstände benutzt.

Wenn ein Drehspulengalvanometer als Nullinstrument verwendet wird, muß man darauf achten, daß das bewegliche System von dem Gehäuse isoliert ist, denn sonst treten elektrostatische Kräfte zwischen Spule und Magnetsystem auf, welche daß Meßresultat fälschen können. Im ersten Moment der Aufladung tritt beinahe die volle Batteriespannung zwischen den Enden der Drehspule des Galvanometers auf.[1])

Es wurde ein Galvanometer von Hartmann & Braun benutzt, welches bei 100 Ω Widerstand eine Stromempfindlichkeit von $40{,}10^{-10}$ A besaß.

Kleine Thermokräfte können in der Weise unschädlich gemacht werden, daß das Galvanometer konstant eingeschaltet bleibt, während der Batteriezweig geschlossen und geöffnet wird.

Meßresultate.

Es wurde ein von der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt geeichter Normal-Luftkondensator der Firma Spindler & Hoyer in Göttingen gemessen. Die Kapazität dieses Kondensators beträgt

$$C = 2099\ \mu\mu\, F \pm 1\ \mu\mu\, F.$$

Es war

$$r_3 = 100\ \Omega, \quad r_0 = 100\ \Omega,$$
$$r_4 = 100370\ ,, \quad r_1 = 9734\ ,,$$
$$n = 48{,}344\ \text{Per/sec}$$

Die Batteriespannung: 60—120 V.

Die Messung ergab

$$C' = \frac{20\,608\,400}{r_1} = 2117{,}15\ \mu\mu\, F.$$

Die Schaltungskapazität wurde bestimmt zu $r_3 = 10\ \Omega$. Die Messung ergab $r_1 = 113000\ \Omega$. Somit $c_0 = 18{,}25\ \mu\mu\, F$ und

$$C = C' - c_0 = 2098{,}9\ \mu\mu\, F \pm 0{,}5\ \mu\mu\, F.$$

---

[1]) Wenn elektrostatische Kräfte auftreten, macht sich dies dadurch bemerkbar, daß die Einstellung der Brücke von der Spannung abhängt.

Das Phonische Rad mit Unterbrecher.

Das phonische Rad ist dargestellt in den Abb. 3 und 4. Das Polrad ist aus einem Stahlstück ausgedreht und läuft in Kugellagern. Es bezitzt 20 Zähne von 8 mm Länge und 20 Zwischenräume von etwa 9,3 mm Länge. Die Zahnhöhe ist 1,5 mm. Als Antriebsmagnete sind gewöhnliche hochohmige Elektromagnete für Kopffernhörer benutzt. Man muß darauf achten, daß die Länge der Polschuhe dieser Elektromagnete etwas kürzer sind wie die Zwischenräume zwischen den Zähnen. Es sind drei solche Elektromagnete am Umfang des Rades angeordnet und zwar so, daß zwei von ihnen verschiebbar sind. Am Umfang des Ständers ist ein Schneckengewinde eingedreht, so daß die Magnete mittels einer Schraube genau eingestellt werden können. Mit Hilfe eines Zweistufenverstärkers wird die in der ersten Elektromagnetwicklung induzierte Spannung so weit verstärkt, daß sie zur Steuerung eines „Kraftverstärkers“ ausreicht. Diese dritte

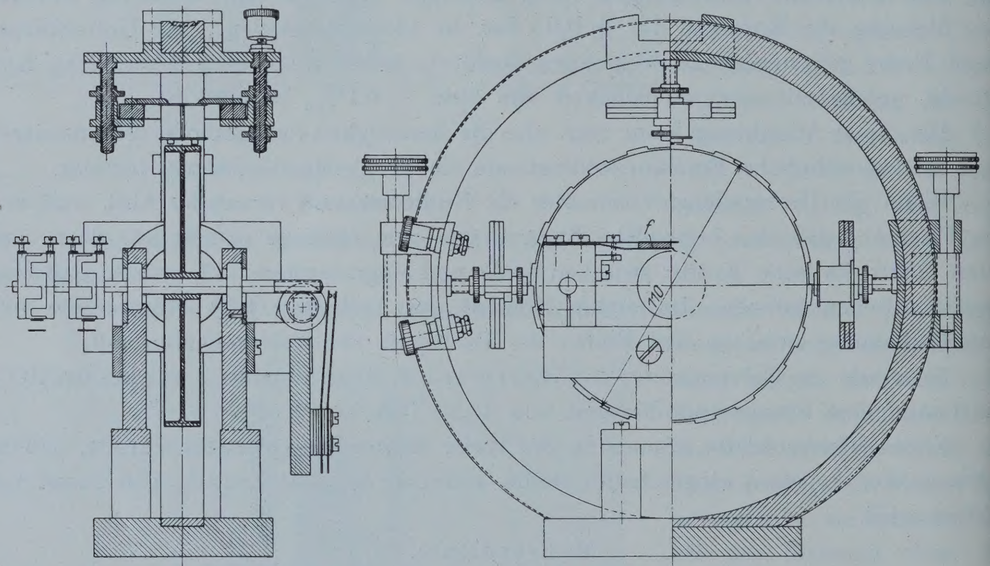


Abb. 3. Phonetisches Rad mit Unterbrecher (1/3 natürl. Größe).

und letzte Verstärkerröhre liefert dann den Strom an den zweiten Elektromagnet, welcher das Rad treibt. Wenn man dann das Rad mit der Hand antreibt, läuft es von selbst weiter und erreicht (ohne Belastung) eine Umdrehungszahl von etwa 2 bis 3000 pro Min.

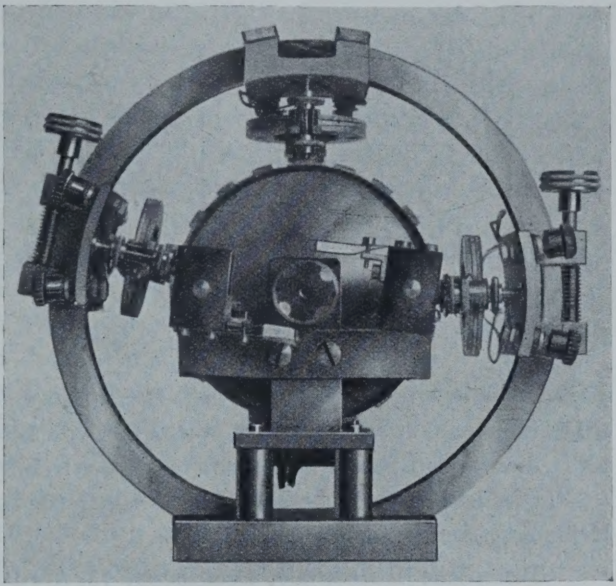
Eine konstante Umdrehungszahl erhält man dadurch, daß man das Phonische Rad mit einer selbstschwingenden Stimmgabel synchronisiert. Die Schaltung hierzu ist in Abb. 6 schematisch dargestellt.

Hat die Stimmgabel die Periodenzahl 435, so läuft das Polrad mit 1305 Umdrehungen pro Min. im Synchronismus, was man leicht durch den Schwebungston zwischen Stimmgabel und den Phonischen Rad konstatieren kann.

Wird nun der Schalter S geschlossen, so kann man mit Hilfe des verschiebbaren Eisenkerns im Transformator T_1 bewirken, daß die Stimmgabel allmählich die Steuerung des phonischen Rades übernimmt. Hierbei muß man aber sehr vorsichtig vorgehen, solange die Stimmgabelschwingungen nicht in der richtigen Phase sind. Eine zu starke Kopplung würde dann bremsend auf das Rad wirken, was natürlich die Synchronisierung erschwert. Läßt man die Einwirkung der Stimmgabel ganz langsam erfolgen, so wird das Polrad allmählich in die richtige Phasenlage hineingezogen, und man merkt das

Hineinfallen in Synchronismus leicht, wenn man die pendelnden Bewegungen des Zeigers am Milliamperemeter beobachtet.

Nebenbei sei bemerkt, daß als Verstärker (R_1 R_2) sowohl für die Stimmgabel als für das phonische Rad die dreistufige Niederfrequenzröhre von Loewe mit gutem Erfolg verwendet werden kann. Der Transformator T_2 für die Stimmgabel ist vorteilhaft, weil sonst der Anodengleichstrom auf das permanente Magnetfeld des Telephons einwirkt, und somit auch auf die Frequenz der Stimmgabel.



Die Frequenz einer gewöhnlichen Stimmgabel aus Stahl als Funktion der Temperatur ist gegeben durch

$$f = f_{15}\,[1 - \alpha\,(t - 15)]$$

wo $\alpha = 1{,}1$ bis $1{,}3 \cdot 10^{-4}$.

Übrigens werden in der letzten Zeit auch Stimmgabeln ohne Temperaturkoeffizieut hergestellt.

Wird die Stimmgabel in einen Thermostaten angebracht, so läßt sich die Frequenz ohne Schwierigkeit auf $\pm \frac{5}{100\,000}$ konstant halten.

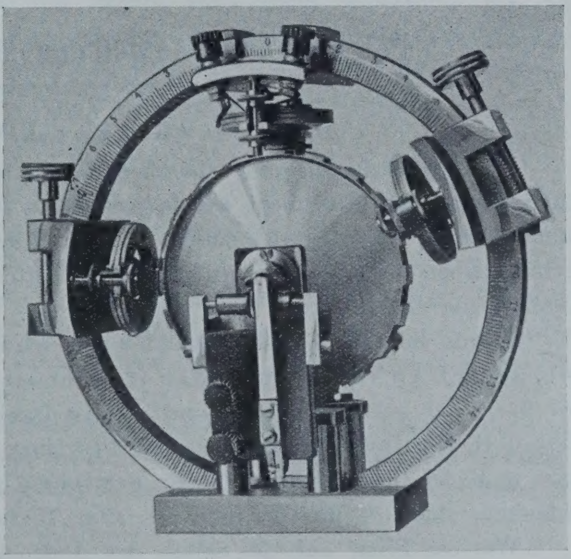


Abb. 4. Phonisches Rad mit Unterbrecher.

An der Welle des Polrades sitzt auf der einen Seite ein Schneckengetriebe mit dem Übersetzungsverhältnis 1 : 50. Das Schneckenrad betätigt bei jeder Umdrehung, d. h. bei jeder fünfzigsten Umdrehung des Polrades einen Kontakt. Dieser Kontakt schließt dann den Stromkreis eines Zählers. Als solcher genügt ein gewöhnlicher Gesprächszähler. Beobachtet man nun die Koinzidenz zwischen dem Sekundenzeiger eines Chronometers und die Einschaltung des Gesprächszählers, genügt schon eine Laufzeit von 10 bis 15 Min. um die Periodenzahl auf $\pm\,0{,}1\,{}^0/_{00}$ zu bestimmen.

An der Welle des Polrades auf der anderen Seite sind zwei Kommutatoren mit je drei Bürsten angeordnet. Für die Kapazitätsmessung braucht man nur einen, aber für viele andere Messungen nach der sogenannten „Secohmeter“ Methode sind zwei Kommutatoren notwendig.

Es hat sich auch hier gezeigt, daß für die Kontaktbürsten an den Kommutatoren eine Dämpfung mit Klavierfilz vorteilhaft ist. Der Kontaktdruck darf nämlich nicht zu groß sein, weil die synchronisierenden Kräfte des phonischen Rades sehr begrenzt sind.

Mit dieser Anordnung wurde der früher gemessene Normalkondensator bestimmt,

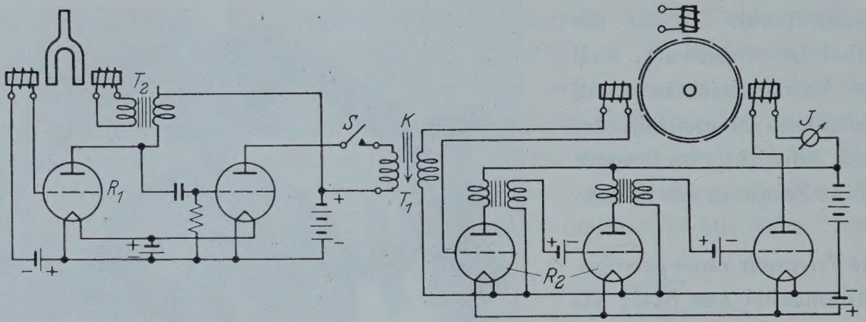


Abb. 5.

und derselbe Wert gefunden. Der Kondensator wurde in der Sekunde 86,868 mal aufgeladen und kurzgeschlossen, wobei die Kontaktdauer etwa 0,003 sec betrug. Schon 10% dieser Zeit würde ausreichen, um den Kondensator vollständig aufzuladen.

Die beiden hier beschriebenen Apparate werden von der Firma R. Jung in Heidelberg hergestellt.

Technische Hochschule, Drontheim, 13. April 1928.

P. L. Guinands Anweisung zum Glasschmelzen.

Übersetzt und herausgegeben
von

Moritz von Rohr in Jena.

Während sich die recht wünschenswerte photographische Ausgabe der Guinandschen Schrift bis jetzt nicht hat verwirklichen lassen, wurde es durch das Entgegenkommen der Schriftleitung dieser Zeitschrift möglich, hier eine einigermaßen wortgetreue Übersetzung des Guinandschen Textes ins Deutsche mit den zugehörigen Abbildungen abzudrucken.

Wegen vieler Einzelheiten muß ich auf meinen Aufsatz „Pierre Louis Guinand, geb. den 20. April 1748, gest. den 13. Februar 1824“ in *dieser Zeitschr.* ***46.*** *S. 121/37, 189/97. 1926* zurückverweisen und meinen Dank an meine freundlichen Förderer, die Herren H. Bühler, A. Kaufmann, Pulz, hier wiederholen. Bei dieser Neuausgabe aber muß ich noch besonders der wertvollen Hilfe von Herrn Prof. Dr. H. Bühler gedenken, ohne die mir der Sinn des alten Textes an einigen Stellen entgangen wäre.

Wie ein Blick auf die Seiten des Abdrucks zeigen wird, sind ziemlich häufig Stellen aufgenommen worden (und auch durch /: . . . :/ gekennzeichnet), die Guinand später wieder gestrichen hat. Ihre Aufnahme machte nun keinerlei sachliche Schwierigkeit, wenn ganze Seiten später einfach verworfen wurden. Anders aber stand es, wenn der Text durch nachträgliche Streichungen und neue Einfügungen, von denen nicht eben selten dann auch noch Teile unterdrückt und durch neue Einschaltungen erweitert wurden, abgeändert worden war. Handelte es sich dabei um wichtigere Mitteilungen, so war ihre lückenlose Berücksichtigung natürlich geboten, war das nicht der Fall, so bin ich damit nach Gutdünken verfahren. Eine ganz vollständige Über-

setzung in Schreibmaschinenschrift kann im Deutschen Museum eingesehen werden, wo sie das Verständnis der Handschrift erleichtern mag.

Guinands sehr zahlreiche Anmerkungen — meine wenigen eigenen habe ich durch das angehängte v. R. als solche gekennzeichnet — werden aus dem Jahre 1805 stammen, wo er seine im Dezember 1800 begonnene Niederschrift für das Utzschneidersche Unternehmen auf das laufende gebracht und erweitert hat. Ich habe die von ihm bei der Anfertigung des Inhaltsverzeichnisses verwandten Bezeichnungen als Titelüberschriften in *[ ]* eingeschlossen verwandt, wie er gelegentlich auch selber so verfahren ist. Bei den neuen erst hier aufgestellten Unterabteilungen findet sich die Abgrenzung der Überschriften durch *[ ]* auch im Inhaltsverzeichnis, so daß es dem aufmerksamen Leser nicht zweifelhaft sein wird, welche Überschriften der Handschrift und welche dem Herausgeber angehören. Die Fragezeichen in *[ ]* werden kaum von Guinand herrühren, obwohl sie in dem Münchener Text stehen; ich möchte glauben, sie stammten von Utzschneider oder Fraunhofer, die jedenfalls beide die wichtige Handschrift gelesen und mit ihren Schwierigkeiten gekämpft haben werden. Das Zeichen *[!]* auf S. [156] stammt von dem Herausgeber.

Die Zeichnungen sind zweifellos zu recht verschiedenen Zeiten angefertigt worden und haben nicht einmal eine fortlaufende Bezifferung erhalten. Ihre aus dem Text gezogenen Unterschriften rühren von dem Herausgeber her. Die Bilder könnten an verschiedenen Stellen in den Text eingereiht werden. Ich habe an der schon 1926 gewählten Anordnung festgehalten, die mir auch heute zweckmäßig erscheint; übrigens sind unter den einzelnen Bildern alle Seiten aufgeführt oder angedeutet, an denen sie meines Wissens erwähnt wurden.

So mag die Übersetzung folgen, die älteste ausführliche Anweisung für die Schmelzung optischen Glases, die überhaupt bekannt geworden ist, und das Grundwerk dafür, was zu Benediktbeurn in den Jahren von 1809 bis zum Ende von 1813 durch gemeinsame Arbeit als das Guinand-Fraunhofersche Verfahren entwickelt wurde.

---

[0]

An den Leser!

Man mache keine Versuche zur Glasherstellung, ehe man die meinigen kennt, wie sie sich zum guten Teil in diesem Buche dargestellt finden. Das läßt den Leser erkennen, was bereits hergestellt wurde, und erspart unnötig aufgewandte Kosten. Man sehe die Aufzählung aller Abschnitte dieser Schrift am Schluß dieser Darstellung. Alle Proben und Versuche sind nacheinander angeführt, wie ich sie angestellt habe, und man kann ersehen, daß die zuerst angestellt wurden, für die bestimmend waren, die folgen mußten.

Im Jahre 1775 habe ich den ersten großen Glasschmelzofen erbaut; das Datum stand an dem alten Schuppen, den wir abgerissen haben, um einen für die Fliesen von Goudebat zu bauen. Um 1768 habe ich mit Proben im Kleinen angefangen, um Flint zu machen; ich habe damit in le Roulet begonnen.

---

[1]

Abhandlung zur Herstellung von Glas, insbesondere von stark brechendem, zur Herstellung farbenfreier Fernrohre.

[Die Zusammensetzung von hochbrechendem Glase. Die Schwierigkeiten, es herzustellen.]

Daß man völlig alle Schwierigkeiten kennen lerne, die man überwinden muß, um hochbrechendes Glas zu machen, muß ich hier den größten Teil der Versuche schildern, die ich in Rücksicht auf dieses Glas gemacht habe. Aber von vornherein sollte man einsehen, daß diese Art Glas sehr schwer herzustellen ist, weil Bleikalk oder Mennig — das ist ein- und dasselbe — in den Glassatz eingeht, so daß man nur dann ein Glas von hoher Brechung erhält; und je mehr man von

diesem Bleikalk oder diesem Mennig in den Glassatz einbringt, um so stärker bricht das Glas, aber um so schwieriger auch ist es vollkommen gleichartig herzustellen; das heißt ohne Bläschen, ohne schädliche Farbe, ohne Streifen und besonders ohne Wellen; da der Satz für dieses Glas weißen Sand, fixes Alkali und Mennig enthält, so ist es tatsächlich ganz sicher, daß der weiße Sand und das Alkali [2] bei gleicher Menge viel leichter sind als der Mennig, sei es daß man sie vor, oder sei es daß man sie nach dem Schmelzen wägt. Diese Verschiedenheit des Gewichts ist die Ursache für die Ungleichartigkeit des Glases, denn das mit Bleikalk hergestellte Glas wiegt viel mehr als das aus weißem Sand und fixem Alkali gebildete, so daß das aus dem ersten Bestandteil entstandene stets auf den Boden des Hafens hinabsinkt, während das Glas aus dem Sande und dem Alkali immer in der Glasmasse aufsteigt. Auch bleiben diese Teile nicht in Ruhe, sondern in dem Glashafen steigt dauernd Glas vom Boden zur Oberfläche, und dauernd sinkt Glas von der Oberfläche bis zum Boden. Um zu verstehen, in welcher Weise diese beiden Bewegungen in der Glasmasse vor sich gehen, betrachte man die Abbildung auf Zeichnung [i]. *AA* stellt den Hafen dar und die Glasmasse darin, in der Mitte von oben nach unten in zwei gleiche Teile geschnitten. Alle diese gewundenen Fäden *dd*, die in der Glasmasse aufsteigen, haben an ihren oberen Enden je ein Knöpfchen [3]. Sie werden stets und ständig am Boden des Hafens gebildet, der in das Glas übergeht [?], und das macht diese Glasteile leichter als die Hauptmenge des Glases. Diese Fäden steigen immer bis zu der Oberfläche *BB* des Glases auf, wenn die Hitze sehr groß ist. Aber auch wenn sie abnimmt, so steigen die Fäden immer, wenn auch weniger hoch, in der Masse des Glases auf. Aber wenn der Hitzegrad auch sehr niedrig ist, so steigen sie doch noch bis auf 10 oder 12 Linien [$2^1/_4$ oder $2^3/_4$ cm] vom Boden des Hafens auf[1]). Das also sind die aufsteigenden Glasteile. Wir kommen nun zu den tatsächlich absinkenden [?]. Diese stammen von den gläsernen Halbkügelchen an der Glasoberfläche her; von ihnen sinken Glastropfen in der Glasmasse hinab bis auf den Hafenboden und lassen auf ihrem Wege überall einen Faden hinter sich. Fäden dieser Art entstehen bei allen Hitzegraden. Außerdem fressen diese Tropfen, wenn sie unten angelangt sind, den Hafenboden sehr wirksam an, und von seinem Stoff entführen die aufsteigenden Tropfen etwas. Betrachtet [4] man die absteigenden Tropfen, so erkennt man sie als ausgehöhlt und von ihrem zugehörigen Faden belastet, denn, wie man es bei *ccc* sieht, vertieft der Faden den Tropfen[2]). In dem Maße, wie diese Tropfen den Boden des Hafens anfressen, sondern sich von ihm Sandkörner ab, wie sie in dem Rohstoff des Hafens enthalten sind, und steigen in der Glasmasse in die Höhe, was man bei *ooo* sieht. Ein jedes Sandkorn läßt einen Faden hinter sich, aber diese verschwinden in einer Entfernung von 12 bis 18 Linien [$2^3/_4$—4 cm] unterhalb der Körner. Aber wenn ihre Fadenform auch verschwindet, so lassen sie doch im Glase eine Welle zurück. Es kommt also hier auf dasselbe hinaus wie bei den beiden Streifenarten, von denen ich vorher gesprochen habe, ehe die Streifen behandelt wurden, die sich durch die Loslösung der Sandkörner vom Hafengrunde bilden. Diese drei in der Glasmasse entstehenden Strömungen sind der Grund für die Schwierigkeit, Glas ohne Fäden und Wellen zu erhalten. Um alle Strömungen im Glase während der Schmelze kennen zu lernen, mußte man Versuche machen, sei es, um auf gute Tiegel zu kommen, sei es, um ein Mittel zu finden, das Glas gleichartig zu machen. Ich gehe daran, die Mehrzahl der Versuche zu schildern, die ich zu diesem Ende angestellt habe [5].

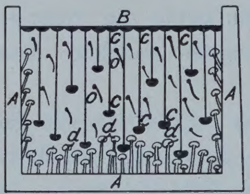


Abb. i. *AA* Hafenwandung. *B* Oberfläche der Glasmasse. *ccc* absteigende Tropfen und Fäden. *dd* aufsteigende Tropfen und Fäden. *ooo* aufsteigende Sandkörner (Kometen). Hauptsächlich (2—3, 35, 39 ff., 167).

---

[1]) Aber dann verschwinden sie scheinbar, wenn man auf die Glasmasse blickt; doch wenn man eine Glasplatte poliert, dann sieht man dicke Wellen ihr ganzes Innere einnehmen. Das sind die aufsteigenden Fäden, die sich zu Wellen ausbilden.

[2]) Diese Art von Tropfen besteht aus geschmolzenem Blei oder Mennig, wie es sich von den übrigen Bestandteilen des Satzes trennt, mit denen es gemischt war. Das geschieht an der offenen Oberfläche des Glases, und sie bilden sich dort als Tropfen, weil diese Massen größere Anziehung aufeinander ausüben als auf den Sand und das Alkali, das den andern, diese Tropfen umgebenden Teil des Glases bildet.

[Versuche mit Häfen aus jeglicher Art von Tonerde, die im Handel zu haben ist.]

Wir wenden uns zu den Versuchen, die das soeben auseinandergesetzte belegen, und zu anderen noch zu überwindenden Schwierigkeiten[1]).

Jetzt will ich bemerken, was ich zu dem Hafen zu sagen habe, als ich meine Versuche machte, um den richtigen Satz für das hoch brechende Glas zu finden. Denn eben bei diesem Anlaß habe ich gelernt, wie schwierig es sei, einen genügend widerstandsfähigen Hafen zu bekommen, so daß er bei der Beschickung mit einer so schweren Glasmasse nicht nachgebe. Noch schwieriger aber ist es, Häfen zu finden, die sich nicht von dem schmelzenden Glase anfressen und auflösen lassen. Ich habe mich der käuflichen Häfen bedient; dafür gibt es verschiedene Töpfereien: es gibt weiße, schwarze, gelblich graue, solche aus Deutschland; diese haben mir noch die besten Dienste geleistet, aber nichtsdestoweniger ließen sie sich von dem schmelzenden Glase anfressen, aber sie schmolzen doch zum mindesten nicht so leicht wie alle andern, soweit ich sie versucht habe, und wurden nicht so stark von der Glasmasse angegriffen. Ich habe beobachtet, daß sich die zerbrechlichsten leichter als andere anfressen lassen. Die deutschen Häfen, die ich am besten befunden habe [6], sind in einer von den übrigen abweichenden Art hergestellt. Wie man erkennt, sind sie aus zwei Arten Tons zusammengesetzt; eine davon widersteht der Hitze mehr und läßt sich schwerer erweichen als die andere. Sie wird gebrannt und grob verkleinert. Diese zerkleinerte Masse wird mit etwa der doppelten Menge des andern, ungebrannten Tons vermischt und gut durchgeknetet. Alsdann formt man Häfen daraus, läßt sie trocknen und brennt sie. Man sieht, daß in dem Tiegel die Stückchen gebrannten Tons einzeln eingebettet sind in die andere Tonmasse, die ihrerseits halb verglast ist. Und daher sind diese Häfen doch noch nicht ganz vollkommen, weil die Glasmasse in die Sprünge eintritt, die sich um jedes Bröckchen des gebrannten Tons gebildet haben. Aus diesem Grunde werden diese Häfen von der Glasmasse schneller angegriffen, als wenn sie völlig ohne Sprünge wären. Außerdem schmilzt der Ton, in den der gebrannte Ton eingebettet ist, zu leicht, und das hat zur Folge, daß die geschmolzene Glasmasse [7] in dem Hafen diese Tonart zum Schmelzen bringt. Wenn demnach diese Häfen dauerhafter sind als die anderen von mir erprobten [?], so liegt das an ihrer größeren Festigkeit und dem besseren Zusammenhalten der sie bildenden Tonteilchen verglichen mit den übrigen Häfen. Wie man weiter unten sehen wird, habe ich mich auch einer Art von sehr weißen und zerbrechlichen Häfen bedient. Sie bestehen aus einer besonders weißen Tonerde gemischt mit grobem weißem Sande. Diese Häfen sind bei ihrer Herstellung nicht scharf genug gebrannt worden, so daß sich die Teile der Masse nicht in dem Maße vereinigt haben, wie bei den soeben besprochenen deutschen Häfen. Aber ich glaube wohl, daß keine Kunst diesen Häfen beim Brennen eine solche Hitze geben könne, um diesen Ton, wie wenig es auch sei, zum Schmelzen zu bringen. Aus diesem Grunde fand es sich, daß das Glas, sobald ich es in einem solchen Hafen schmelzte, den Hafen in gewaltigem Maße angriff, denn das Glas drang schnell in die Sprünge dieser Häfen ein und löste diese [8] Häfen auf. Man sah auch in diesem Glase eine Menge Sandkörner, die sich von der Masse des Hafens losgelöst hatten und in dem Glas aufgestiegen waren. Ließ ich in diesen Häfen das Glas 7 bis 8 Stunden lang schmelzen, so fraß es sich hier und da durch die Tiegelwandung, was bei den deutschen Häfen nicht vorkam

[Häfen eigener Herstellung.]

Nach meinen Versuchen mit diesen Häfen ging ich daran, sie mir selber zu machen; ich habe sie aus allen mir zugänglichen Tonarten gemacht, fand aber keine besser als die[2]) aus Lengnau bei

---

[1]) Ich habe unzählige Versuche mit kleinen Häfen angestellt, die 2 bis 4 Pfund Masse hielten, um die gute Zusammensetzung zu finden, habe die Anteile und die Hitzegrade in jeder Richtung abgeändert, ich habe die verglasbaren Stoffe untersucht und sie in jeder Art von Abänderung geschmolzen und habe alles niedergeschrieben, um den gleichen Versuch nicht noch einmal anzustellen.

[2]) Im Tal von Dachsfelden unterhalb von le Fuet. Sie ist für Häfen ausgezeichnet, weil sie keine Bläschen im Glase gibt. Man muß ihr den gröbsten Sand auswaschen oder aussieben und sie nachher ungemischt, ohne irgendwelche Zutat, verwenden. Um den Ofen zu bauen, muß man sich des Tons bedienen aus der Umgebung.

Büren in der Nähe von Biel[1]). Dieser Ton ist ziemlich weiß und mit gleichfarbigem sehr feinem Sande vermischt. Er enthält auch ein Salz einer mir unbekannten Art, und wenn man ihn bei scharfem Feuer brennt, so schmelzen die Bestandteile völlig zusammen und werden so hart, daß sie am Stahl Funken geben, wenn man mit dem Feuerzeug dagegen schlägt. Das kommt zwar auch bei anderen Tonarten vor, daß man an ihnen mit dem Stahl Funken erhält, aber es geschieht nur [9] an den in ihnen enthaltenen Sandkörnern. Alle übrigen von mir versuchten Tonarten enthalten als Beimischung allzu groben Sand, und das gilt namentlich von den unterhalb von le Fuet im Dachsfelder Tal gefundenen. Ich habe mich indeß sowohl für meinen Ofen als auch für meine Häfen ziemlich lange dieses Tons bedient. Aber ich trocknete ihn zunächst, zerkleinerte ihn danach zu Pulver, schickte ihn dann durch ein seidenes Sieb, um die gröberen Sandkörner aus ihm zu entfernen, und knetete die durchgesiebte Masse aus. Ich habe diesen Ton dann sehr gut für die Häfen verwenden können, aber nicht /: wie vornehmlich den von Lengnau :/ für den Bau des Ofens; denn wenn ich eine große Zahl von Malen in demselben Ofen schmelzte, so wurde der Ton aus le Fuet völlig zu Pulver, während der von Lengnau stets fest verbunden blieb und auch beim höchsten Grade der Hitze nicht zusammensinterte. Übrigens kommt das bei nicht weißen Tonarten vor, denn ich habe Tonarten von einiger Färbung [10] gefunden, wie rot, blau, grün, die schon bei mittlerer Hitze schmelzen. Wenn sie die eine oder die andere Farbe nur in geringem Grade zeigen, so sintern sie nur ein wenig zusammen. Der Anlaß für diese Färbung der Tonarten ist ihre Verbindung mit Metallen, so enthält der rotgelbe Eisen, der blaue Kobalt, der grüne Kupfer. Eisen gibt dem Glase beigemischt eine rötlichbraune Färbung, Kobalt ein schönes Blau, Kupfer ein Grün. Und ich habe bemerkt, daß, wenn ich mich eines Hafens aus diesen Tonarten bedienen wollte, daß diese Häfen mein Glas mit der Farbe versahen, die der Ton ursprünglich hatte.

[Versuche zur Feststellung einer etwaigen Notwendigkeit, feinen oder groben Sand in dem Hafenton zu lassen.]

Ich habe auch Versuche darüber angestellt, ob feiner oder grober Sand für den Hafenton besser sei? Zu diesem Zweck nahm ich weiße Tonerde, die ich [11] von Sand freigeschwemmt hatte, so daß sie weder groben noch feinen Sand mehr enthielt. Ich habe alsdann etwa den dritten [Gewichts-] Teil feinen Sandes zu dem reingeschlämmten Ton hinzugefügt, alles gut durchgeknetet und daraus einen Hafen geformt. Ich habe ferner ein Dritteil gröberen Sandes wie vorher zu dem reingeschlämmten Ton gemischt, sowohl vom gleichen Ton wie vom gleichen Sand, habe auch diese Mischung gut durckgeknetet und den zweiten Hafen geformt. Dann habe ich diese beiden Häfen Seite an Seite in denselben Ofen gebracht und, als sie dem schärfsten Feuer ausgesetzt gewesen waren, sie beide mit dem gleichen Glassatz gefüllt und ihn richtig flüssig werden lassen. Sodann ließ ich meine Häfen kühl werden, während sie ihren Glasinhalt umschlossen. Es fand sich, daß der Hafen mit dem feinen Sande von jenen Grübchen und Höhlungen, die das Glas während des Schmelzvorganges in die Häfen frißt, viel weniger hatte, als sie sich bei dem mit gröberem Sande fanden. Ich habe außerdem bemerkt, daß der Ton um die groben Sandkörner herum Sprünge hatte. Der Grund dafür ist, daß die Sandkörner [12] je nach ihrer Erhitzung an der Ausdehnung teilnehmen, und daß die rohe Tonerde so lange zusammenschrumpft, bis sie den Hitzegrad erlangt, wo sie von dem rohen in den Schmelzungszustand übergeht. Die Schrumpfung der Häfen im Feuer beim Brennen findet nur darum statt, weil der Ton des Tiegels so lange zusammenschrumpft, bis die Tonerde gut mit dem Sande verschmolzen ist, und das geschieht vollständig erst bei dem höchsten Hitzegrade, den man erreichen kann. In der ganzen Zeit vorher dehnt sich der Sand immer mehr aus, denn je höher man den Grad der Hitze hinauftreibt, um so mehr folgt dem die Ausdehnung des Sandes. Man erkennt indessen, daß sich die Ecken der Sandkörner in der großen Hitze ein wenig abstumpfen, aber das geschieht erst, [13] wenn[2]) ... Denn das geschieht niemals,

[1]) Wegen der Ortsnamen nach gütiger Auskunft von Herrn Prof. Kaufmann s. a. *diese Zeitschr. 1926.* ***36****. 126, 133/4, 136.* Die von Guinand gebrauchten Ausdrücke sind hier Longeau, Burne, Bière, Tavanne. v. R.

[2]) ... die gasförmigen Schmelzmittel im Ofen sie angreifen, oder die Schmelzmittel des Glases oder wie sie das Holz oder die Kohle allein geben. Denn alle diese geben davon über und über genug ab, um den Sand und die Tonerde anzugreifen.

wenn der Sand allein der allerstärksten Hitze ausgesetzt ist, die man auf ihn wirken lassen kann. Aber das gilt nur für einen Ofen, in dem sich kein geschmolzenes Glas noch ein anderer schmelzbarer Stoff befindet, denn alle diese Stoffe gehen Verbindungen ein und würden sich auf den Sand werfen, der ihren Angriffen ausgesetzt ist, um ihn an seiner Oberfläche aufzulösen. Denn man muß wissen, daß der Sand von dem Metallsalz oder -kalk nur deshalb gelöst wird, weil die Schmelzmittel ihn ganz so wie die Säuren, Metalle oder andere lösliche Stoffe auflösen. Was die Lösung des Sandes durch die Schmelzmittel angeht, so kann sie nur vor sich gehen, wenn die Sandkörner eher von innen heraus schmelzen [14] als an ihrer Oberfläche. Daß die Oberfläche allein schmilzt, kommt nie vor, denn zuerst schmelzen die vorspringenden Ecken des Sandes, weil sie dem Schmelzmittel die größte Fläche zum Angriff darbieten. Wenn man sich all dies vergegenwärtigt, so sieht man leicht ein, daß der gröbere Sand in der Tonerde niemals so gute Dienste leisten kann wie der feinere. Ich spreche hier nur von dem weißen Sande, denn die stark gefärbten Sandarten, sei es der einen, sei es der anderen Färbung, lassen sich durch Schmelzmittel leicht verflüssigen. Es gibt ihrer sogar, die in gutem Feuer allein flüssig werden, aber nur dann, wenn sie sehr kräftig gefärbt sind. Die Farben kommen ihnen, wie sie den [15] Arten von Tonerde kommen, durch metallische Beimengungen zum Sande, wie wir das oben bei den Tonarten gesagt haben; es gibt auch noch grauen Sand mit beigemengten Salzteilen, die ihn leicht schmelzbar machen.

[Ein Mittel, um zu erkennen, ob es sich um eine tonige oder kalkige Erdart handelt.]

Hier folgt ein sehr einfaches Mittel, um eine tonhaltige Erdprobe von einer kalkhaltigen zu unterscheiden. Um das zu erkennen, füllt man nach Belieben Salpeter- oder Schwefelsäure auf: wenn die Probe in der Säure braust, so ist das ein Beweis für ihre Kalkhaltigkeit, und sie taugt daher weder für den Ofen noch für den Hafen etwas; wenn sie aber in den Säuren gar nicht braust, so ist das ein Beweis für ihre Tonhaltigkeit. Um alle Erdarten kennen zu lernen, wolle man das chemische Wörterbuch [16] von Herrn Maquer nachschlagen; man sehe es bei Erdprobe, Töpferei usw. ein. Ich werde darüber sprechen, wenn ich die Weise geschildert habe, nach der ich meine Häfen mache. Bei der Durchführung meiner früheren Versuche habe ich eingesehen, daß man kein Glas in kleinen Häfen machen kann, denn man kann die Vorgänge in so kleinen Glasmengen nicht mit den Augen verfolgen. Ich habe wohl die Verschiedenheit der Bewegungsrichtungen in der Glasmasse erkannt, aber ich konnte in den kleinen Mengen nicht herausbekommen, welche Bestandteile diese Bewegungen hervorriefen, noch auch ihre Richtungen in der Glasmasse feststellen.

[Der vielfache Ofen für Häfen von 150 Pfund Glas.]

/: Ich bin daher zur Herstellung eines großen Ofens übergegangen, wo ich Häfen von etwa /: 150 Pfund Glas unterbringen konnte :/ auf S. 28 [17].

Dies ist die Beschreibung eines von mir erbauten Ofens, in dem ich 17 Schmelzen gemacht habe; es sind gute [Gedanken] darin[1]).

/: Ich will im Folgenden Beschreibungen eines Schmelzofens liefern.

[Es folgen 9 Zeilen besonders wirksamer Streichung. Soweit ich mich darin zurechtfinde, handelt es sich um eine allgemeine Bewertung der vom Verfasser erlangten Einsicht, nicht aber um Einzelheiten eines älteren Verfahrens. v. R.]

/: Der Ofen muß derart angelegt sein, daß man nach Belieben Feuer unter den Hafen schlagen /: lassen kann. Man erkennt in dem Folgenden die Abänderungen im Innern des Ofens, vor- /: genommen für die von mir angestellten Versuche, um die beste Art des Rührens sowohl wie /: auch des Gießens zu finden. Vor allem aber muß man den einzelnen Versuchen nacheinander /: folgen, wie sie von mir angestellt wurden, dann wird man sehen, woran man sich halten muß, /: und [sich hüten], daß man nicht bereits vorgenommene Versuche wiederholt. Aus diesem Grunde

[1]) Obwohl diese Seiten gestrichen sind, sollte man sie doch ansehen. Ich habe sie gestrichen, weil der Ofen zum Schmelzen nicht Hitze genug gab. Wäre er 5 Fuß [= 1,6 m] hoch gewesen von dem Gitter zum Gipfel, so wäre das vorzuziehen gewesen, wie auch den langen Feuerzug fortzulassen.

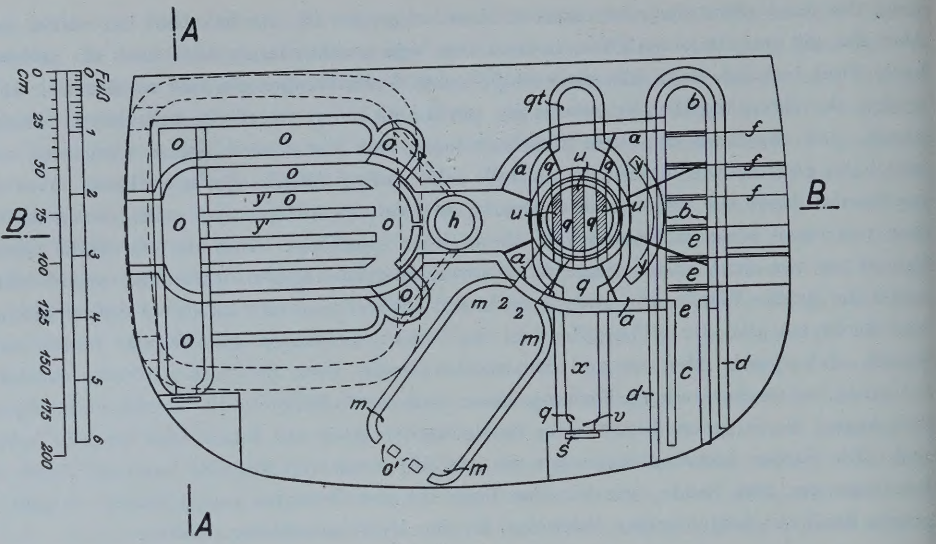


Abb. ii.

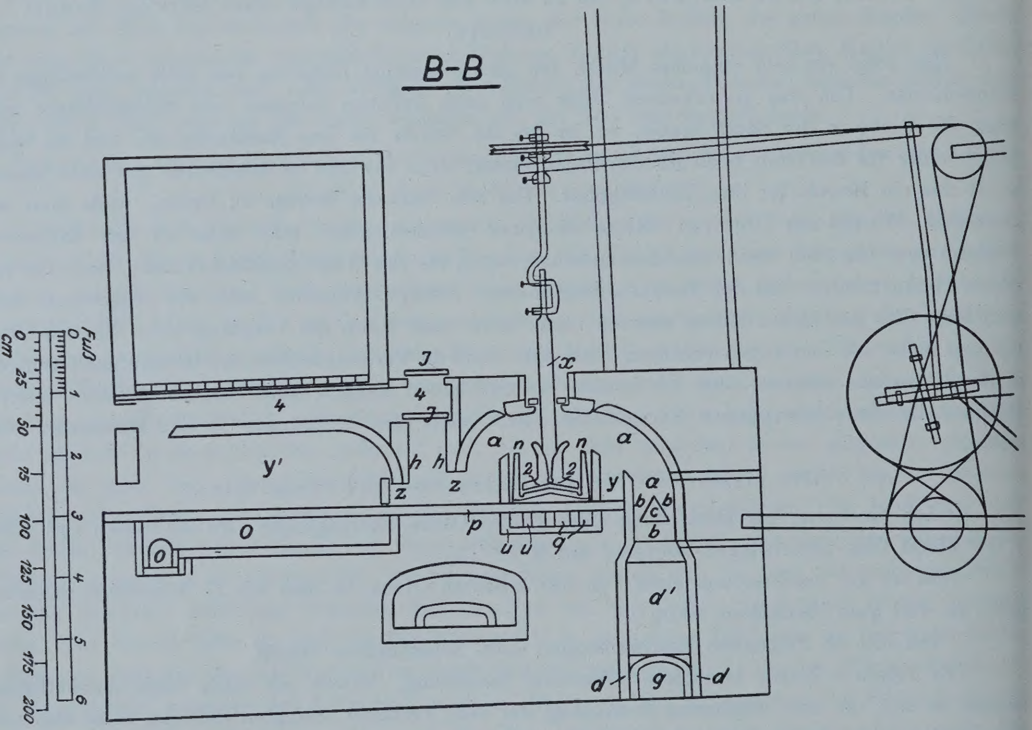


Abb. iii.

Abb. ii, iii und iv. (ii Grundriß — gegen Guinands Muster wurde Abb. ii um 180° gedreht —; iii Längsschnitt entsprechend *B—B* auf ii; iv Querschnitt entsprechend *A—A* auf ii). Vielfacher Ofen.

aa	Ofengewölbe für den Schmelzofen	ii u.	iii	*o′o′*	zugehörige Heizlöcher	ii	
bb	Feuerstelle für die Holzscheite	„	„	*p*	Heizfläche des Schmelzofens		iii
cc	Einschub für die Holzscheite	„	„	*qq*	Lichte Weite der Heizkanäle	„	„
dd	Wandung	„	„	*qt qt*	Abzug	„	
d′	tiefer Aschenkasten		„	*v*	Heizloch dafür	„	
ee	Öffnungen in der Heizfläche	„		*s*	Eisenbereifter Deckel	„	
ff	Eisenstäbe	„		*u*	Zwischenwände	„	„
g	Luftloch	„	„	*x*	Feuerstelle für die Holzscheite	„	
hh	Abzug	„	„	*yy*	Kreismauern aus gutem Hafenton	„	„
JJ	Deckel dafür		„	*y′y′*	Ofen für die Formen mit ihren Glasstücken	„	„
mm	Aus- und Eingang am Fritt- und Verkalkungsofen	„		*oo*	Luftführung dazu	„	„ iv
nn	oberer Hafenrand und dahin führender Kanal	„	„	*zz*	Verbindungsgang zum Schmelzofen		„
22	Grundriß des Kanals	„					

Hauptsächlich (18 ff., 61, 84 ff., 125 ff., 151).

/: gebe ich stets das Ergebnis eines jeden Versuches an, und die Gründe, warum diese und diese
/: [18] Folgen eingetreten sind, mindestens soweit ich darum weiß.

/: Tafel 2 [iii] stellt mit ihrer Zeichnung den Schmelzofen in senkrechtem Schnitt dar, so
/: daß man den Ofen in der Seitenansicht vor sich hat. Ich habe hier nur die Beschreibung des
/: Schmelzofens, obwohl die Zeichnungen 1, 2 und 3 [ii, iii u. iv] dienen für den Schmelzofen, den
/: Dörrofen für den Weinstein, den Senk- und den Verkalkungsofen, sowie den Holz-Trockenofen.
/: Zu anderer Zeit werde ich weiter unten auch diese beschreiben. Alle diese bilden zusammen
/: nur eine Anlage, die sie alle enthält. Sie sind derart geplant, daß man sie alle mit demselben
/: Feuer anheizen und daß man bequem dörren, schmelzen, senken und Holz trocknen kann. Der
/: Ofen spart stark an Holz und Arbeit, damit verglichen, wenn man alle diese Öfen einzeln zu heizen
/: hätte. Da es sich hier um nichts weiter handelt als um die Berichte von den bereits nach-
/: einander angestellten Versuchen [19], so will ich hier nur den
/: Schmelz- und den Verkalkungsofen beschreiben, diesen zur
/: Verkalkung des Satzes, bevor man ihn in den Schmelzhafen
/: bringt, denn es ist der gleiche, dessen ich mich auch schon
/: für meine ersten Versuche im großen bedient habe. Ich
/: hatte einen Schmelzofen nur für meine Versuche erbaut.
/: Dieser Ofen war im Innern wie der sogleich zu beschrei-
/: bende eingerichtet, aber enthielt die anderen Öfen nicht,
/: wie sie auf den genannten Zeichnungen 1, 2 u. 3 [ii, iii
/: u. iv] stehen, Um hier nicht ebenso viele Zeichnungen
/: machen zu müssen, wie ich Öfen gebaut habe, habe ich
/: mich entschieden, nur den als besten und bequemsten er-
/: fundenen zu zeichnen, nichtsdestoweniger wird man sehen
/: und die Gründe erkennen können, warum ich so viele [ein-
/: zelne] Öfen machen mußte, wie sie in dem auf Zeichnung 1,
/: 2 und 3 [ii, iii, iv] dargestellten dargestellt worden sind.
/: Nunmehr folgt die Beschreibung des Schmelzofens: *aa*,
/: //: erste :// dritte [ii] Tafel [20] alles, was die Innenfläche
/: des Schmelzofens bedeutet und auch auf der Zeichnung
/: Tafel 4 [iii]. *bb* auf derselben Tafel ist die Feuerstelle, wo
/: die Holzscheite brennen. *cc* ist der Einschub für die Scheite
/: an die Feuerstelle, immer auf beiden Zeichnungen. Man
/: sieht, daß Tafel 2 [ii] den Grundriß für alle Öfen abgibt,
/: aber ich beschreibe hier tatsächlich nur den Grundriß des
/: Schmelzofens, auf dem Heizboden des Ofens. Die Feuer-

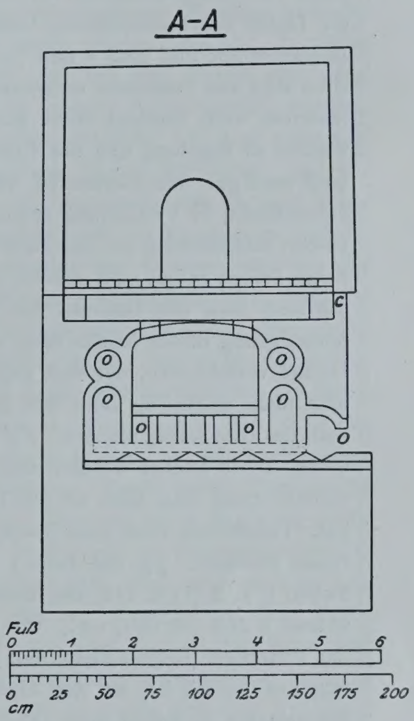


Abb. iv.

/: stelle liegt 8 Zoll [$= 21^1/_2$ cm] tiefer als der Heizboden, wo der Hafen aufgestellt werden muß.
/: Folgt man nur dem Maßstab, so erhält man alle Maße. Die Heizfläche muß über einer Decke
/: oder einer Vertiefung angebracht sein, man sehe sie bei *dd*. Diese Heizfläche gibt die Decke
/: der Vertiefung ab und muß 6 Öffnungen haben, die, querlaufend, die Heizfläche völlig durch-
/: brechen; man sieht sie auf Tafel 2 [ii] bei *ee*. Diese Öffnungen haben alle 2 Zoll [$= 5^1/_2$ cm]
/: in der Breite. Um sie herzustellen, [21] bedarf man 7 Walzen, die in 2 Zoll Abstand voneinander
/: gelagert werden und so die erwähnten Öffnungen *ee* bilden. Durch diese Öffnungen tritt die Luft,
/: um das Holz brennen zu lassen, und durch sie fällt auch die Asche auf den Grund der Ver-
/: tiefung *dd*. Um diese Öffnungen *ee* zu schließen, bedarf es querüber in der Höhe der Decke
/: einiger Eisenstäbe, wie man sie bei *ff* auf Tafel 4 [ii] sieht. Sie haben 8 bis 12 Linien [= 18
/: bis 27 mm] Durchmesser und werden so angebracht, daß sie jede der Öffnungen *ee* in zwei gleiche
/: Teile zerlegen; doch befinden sie sich unterhalb der genannten Öffnungen *ee*. //: die Vertiefung
/: wird abgeschlossen werden :// *dd* auf beiden Tafeln steht für den freien Raum der Vertiefung.
/: Man muß dort eine Öffnung vorsehen, durch die Luft in die Vertiefung tritt, um das Feuer
/: an der Feuerstelle *bb* zu nähren. Diese Öffnung ist auf Tafel 1 [iii] mit *gg* bezeichnet. Man
/: bedarf eines Deckels zu völligem Verschlusse dieser Öffnung *gg*. Dieser [22] Deckel soll sich

/: vor diese Öffnung schieben lassen und sie nach Breite und Höhe um 2 Zoll [= $5^1/_2$ cm] über-
/: treffen; er soll mit Eisen gerandet sein. Mit ihm läßt man mehr oder weniger Luft an die
/: Herdstelle *bb* treten, um das Holz mehr oder minder rasch brennen zu lassen; ein weiterer
/: Deckel muß die vordere Öffnung der Vertiefung schließen, wie man sie bei *dd* auf Tafel 1
/: [iii] sieht, auch dieser muß mit Eisen gerandet sein. Er muß sich leicht abnehmen lassen,
/: wenn man nachsehen will, ob an der Feuerstelle *bb* nichts in Unordnung ist. Dieser Deckel
/: muß die Vorderwand der Vertiefung gut abschließen. Man muß ihn sogar mit geknetetem
/: Ton verschmieren. *hh* auf beiden Tafeln ist der Ofenabzug. *JJ* sind zwei Deckel, die ihn an
/: zwei verschiedenen Stellen abschließen. Diese Deckel sind aus Hafenton hergestellt, rund und
/: mit Eisen umreift. Sie sind auf Tafel 1 [iii] zu erkennen. [23] *mm*[1]) auf Tafel 2 [ii] ist die
/: Heizfläche des Fritt- und Verkalkungsofens für den Glassatz. Diese Heizfläche muß in gleicher
/: Höhe mit dem Hafenrande im Schmelzofen stehen. *mm* auf der gleichen 2. [ii] Tafel gibt [auch]
/: die Lichte des beschriebenen Ofens im Grundriß an. Das darüber errichtete Mauerwerk ist ein
/: Bogengewölbe und muß 8 Zoll [= $21^1/_2$ cm] höher sein als die Heizfläche desselben Ofens. Dieser
/: Ofen wird aus Tonfliesen aufgemauert, die an dieser Stelle nicht schmelzen, aber auch nicht allzu
/: feuerfest sind, sondern recht hart werden und sich fest miteinander verbinden. Diese Fliesen
/: werden so angelegt, daß das Gewölbe überall mindestens 3 Zoll [= 8 cm] stark ist. Diesen Ofen
/: muß man gut mit Eisenreifen umspannen. Von dem Ausgang dieses Ofens *mm*, der mit dem
/: Schmelzofen in Verbindung stehen muß, führt ein Kanal in der Höhe des Ofengewölbes und des
/: oberen Hafenrandes *nn* auf Tafel 1 [iii] am Boden [24] in einer Länge von 2 zu 2 auf Tafel 2 [ii].
/: Seine beiden Seiten sind erhöht, jede auf 2 Zoll [= $5^1/_2$ cm], und sie bilden den Kanal; über ihn
/: hin muß man den Glassatz von dem Verkalkungsofen in den Schmelzofen schieben. Der Ver-
/: bindungsweg dieser beiden Öfen muß [im Querschnitt] halbmondförmig sein; er wird durch einen
/: Deckel verschlossen, der sich gegen das Innere des Verkalkungsofens stützt. Diesen Deckel darf
/: man nicht einfassen, denn täte man es, sei es mit Eisen, sei es mit anderm Metall, so würde
/: man das Glas farbig machen. *o'o'* auf Tafel 2 [ii] sind die Heizlöcher des Fritt- oder Verkalkungs-
/: ofens. Diese Löcher werden nach Belieben geöffnet oder mit eisenbereiften Deckeln geschlossen.
/: Solche bringt man auch an den Heizlöchern an, deren jedes eine Höhe [25] von 6 Zoll [= 16 cm]
/: hat. Tatsächlich muß man [noch] zu einem unter der Heizfläche des Schmelzofens hinführenden
/: Kanal kommen. *pp* auf Tafel 1 [iii] ist die Heizfläche des Schmelzofens, *qq* gibt auf beiden
/: Tafeln 1 u. 2 [ii u. iii] die lichte Weite dieses Kanals an; seine Höhe im Lichten beträgt
/: überall 5 Zoll [= $13^1/_2$ cm], wie man das bei *qq* auf Tafel 1 [iii] sieht. *vv* auf Tafel 2 [ii] ist
/: das Feuerloch dieses Kanals und *ss* ein eisenbereifter Deckel, um ihn zu schließen. *qtqt* eben-
/: falls auf Tafel 2 [ii] ist der Abzug, der [dort] beginnt und bis zur Höhe des Hafenrandes im
/: Schmelzofen ansteigen muß. Dort läßt man ihn in den Schmelzofen eintreten. Er ist kreisrund
/: und zylindrisch in seiner ganzen Länge und hat mit dem Schmelzofen nur diese Verbindung.
/: Der Kanal dient dazu, den Hafen von unten zu heizen, bis es zweckmäßig ist [26], keine weitere
/: Bodenhitze wirken zu lassen. Der Kanal geht unter dem Boden des großen Hafens und zwischen
/: den drei Tonmauern *uu* auf diesen beiden Tafeln durch. Will man diesen Kanal heizen, so legt
/: man die Scheite angezündet nach *xx* auf Tafel 4 [ii]. Man muß noch auf den Abzug dieses
/: Ofens zu sprechen kommen; er muß senkrecht aus dem Ofen hinausführen, wenn man ihn aber
/: oben mit einem Deckel abschließt, so werden die Flammen gezwungen, in den Schmelzofen zu
/: schlagen. Daneben bedarf es noch eines Deckels, um nach Belieben die Verbindung dieses Ab-
/: zugs mit dem Schmelzofen zu schließen und zu öffnen, und zwar in der Höhe des Ofens. Dieser
/: Abzug ist auf den Zeichnungen nicht dargestellt, weil das [27] ihre Übersichtlichkeit gestört hätte.
/: Dieser Abzug muß so eingerichtet sein, daß man die Flammen aus diesem Kanal in den Schmelz-
/: ofen leiten kann, und zwar um an Hitze zu sparen; denn diese ginge verloren, wenn man sie
/: aus dem Ofen treten ließe. Es ist aber auch nötig, daß man den Deckel *ss* auf Tafel 2 [ii]
/: aufmachen und die Verbindung des Abzugs mit dem Ofen schließen kann, um durch den Kanal
/: einen Luftstrom zur Abkühlung des Hafenbodens zu schicken, wenn man das will. *yy* auf beiden

---

[1]) Guinand schreibt *hh*, was mir nach der Zeichnung ii unrichtig zu sein scheint. v. R.

/: Zeichnungen sind Teile von Kreismauern aus gutem Hafenton, um zu hindern, daß die Flammen /: keine Seite des Hafens besonders stark erhitzen. Den Eingang der Feuerung bei *c* auf Tafel 1 [iii] /: verschließt man ganz dicht mit einem eisernen Deckel. Dieser [28] wird so eingerichtet, daß /: man ihn leicht abnehmen und wieder anlegen kann. Denn sobald man durch dieses Loch *c* ein /: Holzscheit in den Ofen geworfen hat, so schließt man den Deckel.:/

Ich habe also, wie schon gesagt, Versuche gemacht, um zu erkennen, welches der beste Satz für gleichartiges Glas sei.

[Versuche, um den besten Glassatz zu ermitteln.]

Ich habe alle schmelzbaren Erdarten, alle Metallkalkgattungen und alle Arten alkalischen Salzes, soweit ich sie kenne, erprobt. Ich habe die Anteile von den kleinsten bis zu den größten Verhältnissen abgeändert und dabei die höchsten und die geringsten Hitzegrade angewandt. Es wäre viel zu umständlich und auch zwecklos, alle Ergebnisse der verschiedenen Glassätze und der verschiedenen Hitzegrade aufzuzählen. Alles was ich hier sagen muß, ist das folgende. Je höher man die Hitze treibt, desto eher kommt man in die Lage, ein Glas frei von Blasen und unerwünschten Farben zu bekommen; außerdem muß man dem Satz weniger Schmelzmittel zugeben, und daraus geht ein hartes Glas hervor, einigermaßen den Edelsteinen ähnlich. Ich muß außerdem hervorheben, daß der Metallkalk aller Art [29] selbst ausgesprochene Farben hervorruft, und mit diesen Mitteln macht man Farbglas. Ich habe solches von allen Farben geschmelzt, in sehr hoher Vollkommenheit; ich werde weiter unten angeben, wie man vorgehen muß, um Farbglas zu machen. Um alles zu lernen und zu verstehen, was sich auf die Schmelzung und Zusammensetzung des Glases niedriger Brechung bezieht. Solches wird in allen Glashütten geschmolzen, eine englische ausgenommen, wo man Glas von hoher Brechung schmelzt. Es wird Flintglas genannt. Man macht daraus Tafelgeräte aller Art, Uhrgläser jeder Gattung, und besonders braucht man es für die farbenfreien Fernrohrobjektive. Aber es ereignet sich selten, daß man solche gleichartigen Stücke dieses Glases erhält, um Objektive von 3 Zoll [8 cm] Öffnungs-Durchmesser anzufertigen. Man sehe das chemische Wörterbuch von Hrn. Baumé, wo sich alle Einzelheiten finden. Da ich beabsichtige, starkbrechendes Glas herzustellen, so muß ich mich damit beschäftigen. Durch meine Versuche im Kleinen habe ich eingesehen, daß man mit Hilfe von Bleikalk [30] Glas von hoher Brechung erhält und daß es umso stärker bricht, je mehr Bleikalk man ansetzt, aber auch die Schwierigkeiten, es gleichartig zu erhalten, wachsen. Der Bleikalk färbt das Glas immer gelb, doch wenn man zu dem Satz etwa den 4. Teil von fixem Alkali in höchster Reinheit gibt, so vernichtet es diese Farbe völlig und man erhält ein vollkommen klares Glas. Man darf aber nur ganz weißen Sand und reinen Mennig verwenden. Dies sind die Stoffe, die das Glas von stärkster Brechung und höchster Klarheit ergeben. Man kann die Mengen wohl ändern, doch habe ich am besten gefunden 100 Pfund weißen Sand, 120 Pfund Mennig und 30 Pfund reines Alkali. Weiter unten werde ich die von mir verwandten Mittel zur Reinigung des Alkalis angeben. Bei meinen Versuchen im Kleinen erkannte ich die Unmöglichkeit, in der kleinen Glasmasse von 4 bis 5 Pfund Gewicht zu erkennen, was während [31] des Schmelzvorganges geschähe. Daß dabei Bewegungen im Glase vorgingen, habe ich wohl erkannt, aber ich konnte nicht feststellen, wohin diese verschiedenen Bewegungen im schmelzenden Glase gerichtet waren. Diese Unmöglichkeit veranlaßte mich, einen Ofen zu bauen, worin ich einen großen Hafen von 100 Pfund Glasmasse unterbringen konnte. Außerdem konnte ich dort vier kleine Häfen je von 25 Pfund unterbringen[1]). Dieser Ofen hatte in jeder Richtung 3 Fuß [= 1,0 m] Durchmesser, er hatte die Form einer Hohlkugel und stand auf einem Tonnengewölbe von $1^1/_2$ Fuß [= 0,5 m] Höhe und 10 Zoll [= 27 cm] Breite sowie 4 Fuß [= 1,3 m] Länge. Wo es mit dem eigentlichen Ofen in Verbindung stand, war es offen; in dieses Tonnengewölbe schob man die Holzkloben und darunter war der Herd, wo sie verbrannten.

[Die Beschreibung meines ersten großen Schmelzofens.]

Die Höhe des Ofens im Lichten betrug also $4^1/_2$ Fuß [= 1,5 m]. Ich brachte meine Häfen durch eine oben im Ofen angelegte Öffnung ein, verschloß sie durch einen Deckel und [32] bedeckte

[1]) Diesen Ofen habe ich im Jahre 1775 gebaut.

sie alle gut mit Sand, so daß mindestens 9 Zoll davon [= 24 cm] vorhanden waren. Außerdem hatte ich in dem Ofen ein Gewölbe vorgesehen, worauf ich den Hafen setzte, derart, daß der Hafen mitten im Ofen stand. Eine Öffnung war in der Höhe der Ränder der Häfen angebracht worden. Dieser Ofen gab eine gute Hitze, denn ich erhielt immer gut geschmolzenes, blasenfreies Glas. Eine Klafter Holz [= $3^3/_4$ Raummeter] genügte, den Ofen für eine Schmelze Glases zu heizen, wofür man immer fünf Tage brauchte, obwohl das Feuer nur zwei Nächte hindurch brannte.

[Ein Versuch mit Häfen, demzufolge ein Hafen einer Schutzvorrichtung bedarf, wenn man in ihm Glas von starker Brechung schmelzen will.]

Ferner muß vor den Versuchen mit den großen Häfen darauf hingewiesen werden, daß ich der Meinung war, ich dürfe nur meine Häfen auf den dafür bestimmten Untersatz stellen, wie man das in andern Glashütten tut. Aber alle meine großen Häfen gingen in die Brüche, wenn der in ihnen enthaltene Satz geschmolzen war. Ihnen mangelte die Festigkeit, ein Glas von doppeltem Gewicht des gewöhnlichen in sich zu halten. Ich mußte daher meinen Hafen in einen größeren Außenhafen setzen und außerdem zwischen den Wänden des Ofens und des Außenhafens Stützen anbringen, und dann gingen meine Häfen nicht mehr in die Brüche. Weiter unten werde ich die Herstellung meiner Häfen besprechen. Hier will ich nur das eine sagen, daß [33] ich meine Häfen lange Zeit herstellte, wie das in den Glashütten geschieht: ich bediente mich weißer Tonerde aus dem Dachsfelder Tal. Sie war ein wenig zu sandreich; ich schlämmte sie aber, um ihr den größeren Teil des groben Sandes zu nehmen [s. S. 10/11]. In meinem großen Ofen habe ich alle Arten käuflicher Häfen erprobt, aber sie haben mir nur die Meinung bestätigt, die sich mir bei meinen Versuchen im kleinen bildete. Man sehe auf S. 5.

[Versuch im Großen in dem großen Ofen und die Ergebnisse von zwei Schmelzungen.]

Im folgenden berichte ich von den Versuchen in dem soeben beschriebenen Ofen, wie ich sie mit der Absicht anstellte, zwei Fragen zu beantworten. Zunächst wollte ich wissen, was ein Glassatz mit mehr Schmelzmitteln als gewöhnlich ergäbe, dann wollte ich wissen, ob der Hitzegrad zur Schmelzung eines Satzes mit vielen Schmelzmitteln und eines andern schmelzmittelärmeren, was der ergeben würde, und schließlich wollte ich wissen, ob derselbe Satz in einem größeren Hafen besseres Glas als in einem [34] kleineren Hafen ergeben würde. Für diesen Versuch beschickte ich den großen und einen der vier kleineren Häfen mit demselben Glassatz. Ich hatte die vier Häfen als ersten, zweiten usw. beziffert. Der Glassatz war

	50 Pfund Mennig	[37,5 Hundertteile
und	58 Pfund weißen Sand	43,5 „
und	25 Pfund fixes Alkali	18,8 „].

In einem andern kleinen Hafen hatte ich einen schmelzmittelreicheren Satz, nämlich

	50 Pfund Mennig	[38,5 Hundertteile
und	50 Pfund weißen Sand	38,5 „
und	30 Pfund fixes Alkali	23 „].

Und in den Hafen Nr. 3 hatte ich einen Satz mit noch mehr Schmelzmitteln getan, nämlich den Satz von

	50 Pfund Mennig	[38,5 Hundertteile
und	45 Pfund weißen Sand	34,5 „
und	35 Pfund fixes Alkali	27 „].

Und in den Hafen Nr. 4 hatte ich einen schmelzmittelärmeren Satz als in alle andern gebracht, nämlich wie [35] folgt von

50 Pfund Mennig	[42,5 Hundertteile
68 Pfund weißen Sand	57,5 „].

Ich vollendete die Schmelze mit dem schärfsten Feuer, das mein Ofen aushalten konnte[1]). Der Satz war in dem großen Hafen und in dem kleineren Nr. 1 sehr gut zusammengeschmolzen, doch zeigten sich in beiden Häfen Fäden jeder Art. Aber in dem großen Hafen fand sich mitten in

[1]) Den Ofen habe ich dicht verschlossen, da das Wetter kälter geworden war, und die Häfen mit ihrem Glasinhalt herausgezogen. Dann habe ich sie in der Mitte von oben nach unten auseinandergeschnitten, um den Inhalt der 5 Glashäfen zu besehen.

der Glasmasse mehr Glas, das etwas streifenfreier zu sein schien, doch verhielt sich das nur deswegen so, weil sich die Streifen von dem Hafenton nicht weiter in den großen als in den kleinen Hafen hinein erstreckten. Die Zeichnung auf Taf. I [i] gibt das Aussehen des Glases in dem Hafen wieder, als er nach der Schmelze von oben bis unten durchschnitten worden war. Die Häfen Nr. 2 und 3 mit schmelzmittelreicheren Sätzen als Nr. 1 enthielten ein von Fäden aus den Hafenwänden wimmelndes Glas. Und der Hafen Nr. 4, dessen Satz am ärmsten an Schmelz-[36]mitteln gewesen war, enthielt keinen verglasten Sand; er war vielmehr nur zusammengesintert, gänzlich trübe und von einer dem Achat vergleichbaren Härte. Das waren die Ergebnisse dieser Schmelze: Ehe ich auseinandersetze, was man aus den Fäden verschiedener Art schließen kann, möchte ich von dem Ergebnis einer zweiten Schmelze wieder mit 5 Häfen berichten. Diese hatte ich mit den gleichen Sätzen beschickt wie im vorigen Falle, den Hafen Nr. 4 ausgenommen, dessen Inhalt nicht verglast war. In diesen brachte ich einen noch schmelzmittelreicheren Satz, als es der von Nr. 3 war. Ich führte diese zweite Schmelze oder Befeuerung wie die vorige aus, nur daß die Hitze bloß so weit getrieben wurde, daß der Schmelzvorgang gerade begann. Als der Sand geschmolzen war, ließ ich mit Feuern nach. Es fehlte noch etwa ein Viertel des Wärmegrades [37] von der Höhe des ersten, und dabei hatte ich die größte Hitze noch vier Stunden lang unterhalten. Die Ergebnisse dieser zweiten Schmelze sind die folgenden. Das Glas im großen Hafen und in Nr. 1 der kleineren fand sich zu zwei Dritteln der Höhe der Glasmasse voller Blasen; im unteren Drittel der Glasmassewaren sie gar nicht vorhanden. Bei den drei andern kleinen Häfen verhielt sich das Glas ebenso, nur daß in diesen mehr blasenfreies Glas enthalten war. Diese letzte Schmelze zeigt also, daß die Schmelzung mißlingt, wenn man nicht sehr stark und länger feuert, als zum bloßen Durchschmelzen des Sandes nötig ist.

Tatsächlich sieht man aus diesen beiden Glasschmelzen, daß die Sätze, [38] seien sie mehr oder minder angereichert, kein fehlerloses Glas ergeben, der eine so wenig wie der andere. Man erkennt auch, daß man durchaus einen hohen Hitzegrad erreichen und lange unterhalten muß, um die Bläschen im Glase zu vermeiden. Sicher ist ferner, daß auch wenn der Sand ganz flüssig geworden ist, die Bestandteile des Satzes noch nicht luft- oder gasfrei geworden sind; das kann nur geschehen mittels großer und lange genug unterhaltener Hitze. Dies Gas mag von den im Sand enthaltenen Stoffen herrühren, die von dem festen in den gasförmigen Zustand übergehen. Diese Gasmengen entweichen /: und treten quer durch die Glasmasse :/ und steigen infolge ihrer Leichtigkeit als Bläschen in der Glasmasse auf. Das Alkali und der Mennig mögen dazu auch beitragen. Aus verschiedenen Gründen erscheinen sie mir flüchtiger und weniger fest, doch ergeben Mennig und fixes Alkali, zusammengeschmolzen, ein durchsichtiges und blasenfreies Glas; dagegen aber spricht, daß [39] wenn man sie ebenfalls lange im Feuer läßt, sie gänzlich vergasen; es sieht daher so aus, daß, sobald man sie mit Sand zusammenschmelzt und sie lange flüssig [?] läßt, alle ihre flüchtigen und dem Glase fremden Bestandteile aus der Glasmasse treten, und daß dann der Schmelzvorgang des Glases beendet ist, wenn sich diese Erscheinung vollständig abgespielt hat.

[Nachweis des Grundes für die Schlierigkeit des Glases.]

Obwohl das Glas auf diese Weise bläschenfrei und sehr durchsichtig ist, denn diese beiden Schmelzungen ergaben ein sehr klares Glas, ist es nicht fehlerfrei, da es der Zeichnung auf Taf. I [i] ähnlich sieht. Es ist in einem solchen Grade fadenreich und wellig, daß es Mängel zeigt, wofür man es auch verwenden will. Indessen kommt dies regelmäßig nur bei einem Glase vor, das aus Bestandteilen sehr verschiedenen Gewichts hergestellt wird. Denn wenn man in den Glassatz nur weißen Sand und fixes Alkali in reinem Zustande einbringt, so erhält man ein /: fehlerloses, blasenfreies :/ weniger fäden- und wellenreiches /: und ganz und gar fehlerfreies :/ Glas, aber [40] es hat eine niedrige Brechung. Man vermag kein Glas von genügend hoher Brechung herzustellen, es sei denn mittels Mennigs oder Bleikalks, was dasselbe ist. Das Blei oder der Mennig wiegen etwa doppelt so viel als die gleiche Menge von Sand oder fixem Alkali, und das ist der Grund, warum Glas dieser Art der Zeichnung auf Taf. I [i] ähnlich sieht. Wir wollen nun feststellen, wie es dabei zugeht. Sicherlich hat das Glas mit Mennig zu diesem eine nähere Verwandtschaft als zu dem weißen Sande und dem fixen Alkali, mit denen es durch die Verflüssigung vereinigt ist /: aber nicht genug um gleichartig zu werden :/, anderseits mögen der Sand und das Alkali miteinander besonders nahe verwandt sein, obwohl ihre Freundschaft und Verwandtschaft [auch] mit dem Mennig

sie hindert, in einen ganz gleichartigen Zustand überzugehen. Dies muß sich [41] so verhalten, weil sie sich in der Glasmasse voneinander trennen, wie man es auf der Zeichnung der Taf. I [i] erkennt, wo Glas dieser Art dargestellt ist. Anscheinend tritt diese Trennung an der freien Glasfläche auf, denn dort bilden sich jene Glastropfen *cc*, und sie beginnen, sobald sie eine gewisse Größe erreicht haben, mit dem Absinken in der Glasmasse, weil sie schwerer sind als jene. Man erkennt, daß diesen Tropfen beim Hinuntersinken stets ein Glasfaden folgt und sie nach dem Boden des Hafens drängt; augenscheinlich lastet dieser Faden auf dem Tropfen, da er ihn aushöhlt, wie man das an den Tropfen *cc* sieht. Ich besitze Glasstücke, an denen man erkennen kann, daß sich das meiner Erklärung entsprechend verhält. Man erkennt, daß der Tropfen und der Faden vollständig aus geschmolzenem Mennig oder Blei bestehen, da man sie nur deshalb in der Glasmasse sieht, weil sie stärker brechen als ihre Umgebung. [42] Aus eben diesem Grund erkennt man, daß die am Boden *dd* des Hafens entstehenden Fäden aus Glas geringerer Brechung gebildet sind, weil sie in der Glasmasse hohl oder leer wie eine Barometerröhre erscheinen. Das wird durch die Verschiedenheit der Brechung bewiesen, wie sie den Fäden und Tropfen dieser beiden Arten zukommt. Warum sieht man einen Glasfaden im Wasser? Nur deshalb, weil er eine andere Brechung hat, als das ihn umgebende Wasser; denn hätte er genau die gleiche Brechung, so würde man ihn im Wasser überhaupt nicht sehen. Genau so verhält es sich mit den Fäden und Tropfen des Glases, wie sie sich in dem fraglichen Glase finden: wenn die ganze Glasmasse von gleicher Brechung wäre, so sähe man weder Fäden noch Tropfen, es wäre eben gleichartig. Kommen wir auf die absteigenden Tropfen und Fäden zurück: Wenn sie [43] auf den Hafenboden gelangen, so fressen sie ihn an, weil sie sozusagen eine sehr sandarme, möglicherweise ganz sandfreie, Schmelzmasse sind, und deshalb greifen sie, auf dem Boden angekommen, ihn sehr kräftig an. Dort sättigen sie sich mit dem Hafenton in solchem Maße, daß sie eine schwächere Brechung erhalten als die übrige Glasmasse. Sie werden deshalb leichter und steigen aus diesem Grunde auf, denn der Hafenton gibt ein sehr leichtes und infolgedessen schwach brechendes Glas. Das ist völlig sichergestellt, man braucht nur das Glas oder die es darstellende Zeichnung [i] anzusehen, um sich davon zu überzeugen. Aber man muß die Begriffe der Brechung und Verschiedenheit der Brechung gut kennen.

Wenn die Tröpfchen den Hafengrund angreifen, lösen sich aus dem gleichen Grunde die Sandkörnchen [44] *oo*, die ihrerseits in folgender Weise die Fäden hervorbringen. Da der Hafen Sand erhält, so kann der Sand nicht so schnell verflüssigt werden wie die Tonerde, namentlich nicht, wenn es sich um große Sandkörner handelt. Die Tonteilchen sind so fein, daß sie schmelzen, wenn das Glas mit ihnen in Berührung tritt; indessen schmelzt das Glas sie auch nicht übermäßig schnell, vielmehr bedarf es einiger Zeit, ehe das Glas die Tonerde verflüssigt, und einer längeren Dauer bedarf es zum Schmelzen des Sandes. Hat nun das Glas die Tonerde geschmelzt, worin die Sandkörnchen eingebettet sind, so werden diese frei und steigen, leichter, in dem Glase in die Höhe. Merkwürdig ist es, das diese Sandkörnchen *oo* nicht einfach senkrecht aufsteigen, vielmehr lassen sie stets ein Schwänzchen hinter sich, das bei 9 oder 12 Linien [18 bis 24 mm] hinter dem Sandkorn zu verschwinden scheint. Aber wenn sie auch verschwinden, so hinterlassen sie das Glas wellig[1]).

[Eine Schmelze als Beweis, daß man stark heizen muß, um bläschenfreies Glas zu erhalten.]

[45] Eine dritte Schmelze habe ich noch, aber nur mit dem großen Hafen angestellt. Ich deckte einen Deckel über das Glas, als der Satz völlig im Ofen und der Hafen voll war. Ich habe auch weißen Sand auf den Deckel gebracht, derart, daß die Oberfläche des Glases völlig abgeschlossen war. Ich habe so scharf gefeuert wie möglich und das 12 Stunden hindurch fortgesetzt. Dann habe ich ein wenig mit dem Feuer nachgelassen und bin dabei 6 Stunden lang geblieben. Nach der Abkühlung des Ofens habe ich den seine Glasmasse umschließenden Hafen herausgezogen und ihn wie die vorigen von oben nach unten durchgeschnitten. Er enthielt durchaus keine absteigenden Tropfen und Fäden, aber er hatte immer noch aufsteigende Tröpfchen *dd*, die bis zu

[1]) Der Grund dafür, daß die Sandkörnchen nicht senkrecht aufsteigen, kann nur der sein, daß die Hitze sich auf beiden Seiten des Hafens nicht gleichmäßig verteilt, und das läßt das Glas auf der Seite der stärkeren Hitze flüssiger werden. Die Sandkörnchen ziehen sich nach dieser Seite, weil sie dort leichter aufsteigen.

zwei Zollen [$5^1/_2$ cm] über den Boden des Hafens aufgestiegen waren. Er enthielt auch eine große Menge von Sandkörnchen *oo* mit ihren Schwänzen. Es sah so aus, da weder die Fäden der Art *oo* noch der *dd* auftraten, als sei das Glas gleichartig, aber weit gefehlt, denn es war durchaus wellig. Indessen mußte ich, um die Wellen zu sehen, das Glas anpolieren, da man sie auf keine andere Weise [46] sah. Das Glas war sehr klar und blasenfrei, aber völlig unverwendbar für die Objektive. Fortsetzung auf S. ⁜ [Einschaltung I] [*a*]; denn ich konnte offenbar nicht verhindern, daß sich die Bläschen an den Hafenwänden bildeten und aufstiegen. Ich glaubte, ich könne, wenn sich Tonarten für die Häfen, unangreifbar von dem geschmolzenen Glase, fänden, gleichartiges Glas gewinnen. Und so bemühte ich mich von neuem, Tonarten verschiedener Herkunft zu durchproben und Mischungen vorzunehmen einer Tonart mit einer andern, farbigen, in der Absicht diese möge sich mit dem weißen Ton eng vermischen; ich änderte das Mischverhältnis, um einen Hafen zu erhalten, dessen Tonarten miteinander verschmelzen möchten; diese Häfen brannte ich sehr lange, so daß sie der allerstärksten Hitze ausgesetzt waren, um auf diese Weise die Bestandteile des Hafens möglichst vollkommen miteinander zu verschmelzen, und außerdem dem Hafen eine Härte und Festigkeit zu geben, so daß er unter dem Gewicht des Glases nicht nachgebe. Das brachte ich leicht genug zuwege, und ich glaubte, das Glas würde den so verschmolzenen Ton des Hafens nicht mehr anfressen, aber der Versuch zeigte mir, daß diese Häfen die andern nicht übertrafen; sie ließen sich von dem Glase wie die andern angreifen. Ich habe ferner versucht, fixes Alkali unter den Hafenton zu mengen und auch [*b*] Glassalz. Hierbei schmolzen die Tonarten gut zusammen, und ich unterhielt, nachdem sie einmal dem höchsten Wärmegrad ausgesetzt gewesen waren, dies scharfe Feuer 10 bis 12 Stunden lang, damit der Hafen die /: überschüssigen :/ Salze ausdünste, die ihn möglicherweise allzusehr widerstandsunfähig gegen das Gewicht des einzufüllenden Glassatzes gemacht hätten. Aber die Häfen dieser Art haben mir auch keine besseren Dienste geleistet als die andern. Ich habe auch versucht, eine oder mehrere Auskleidungsschichten im Hafeninnern anzubringen, wozu ich ganz feinen Sand und Alkali verwandte. Manchmal habe ich mehr Alkali, manchmal weniger, gelegentlich auch Mennig und gelegentlich Glassalz hinzugegeben. Ich gab dieser Auskleidung 3 bis 4 Schichten und brannte die Häfen wie die früheren. Aber obwohl diese Verglasung sehr dicht und hart wurde, ließ sie sich doch von dem Glasfluß angreifen wie die früheren Vorkehrungen. Nach dieser Erfahrung bildete ich mir ein, wenn ich das Glas in einem Hafen schmelzte und den Inhalt dann in einen Hafen, sei er verglast oder nicht, umgösse, daß dann der Glasfluß die Wände nicht mehr angreifen würde, weil er ja schon Sand in sich aufgenommen hätte. Auf diese Weise würde ich gleichartiges Glas erhalten, wenn ich es auf einer /: großen :/ passenden Höhe der Erhitzung und jedenfalls lange genug erhielte. Damit war es aber gar nichts; ich habe damit sogar die Erfahrung gemacht, daß Hitze verschiedener Höhe nichts dazu beitrüge, indem ja [*c*] alle Proben mir Hoffnung auf Häfen gaben, die von dem Gasfluß in ihnen nicht angegriffen werden könnten. Ich habe lange gegrübelt, welches Mittel ich heranziehen könne, um gleichartiges Glas herzustellen. Ich kam darauf, den Versuch zu machen, das Glas durchzurühren. Trotz den langen und mühseligen Arbeiten und den Opfern, die ich bisher gebracht hatte, faßte ich wieder Mut und begann von neuem Versuche mit dem Durchrührverfahren. Das hat mir nicht weniger Mühe und Opfer gekostet, wie man es aus den hier gleich zu berichtenden Versuchen erkennen wird. Bei ⁜ auf S. 46 weiter.

[Die Durchrührung des Glases auf verschiedene Arten.]

Nach all diesen Versuchen begann ich damit, das Glas durchzurühren, um die einzelnen Bestandteile des Glases gut miteinander zu vermischen. Für diesen Zweck war ich genötigt, einen Ofen von einer Art zu bauen, daß ich darin ein Rührzeug anbringen konnte [Einschaltung II] [*d*]. Der Ofen ist im Lichten 3 Fuß 3 Zoll [= 1,1 m] breit und 5 Fuß [= 1,6 m] im Lichten hoch, das Tonnengewölbe eingeschlossen. Er hatte innen eine Eiform, das Tonnengewölbe oder die Feuerstelle ist 10 Zoll [27 cm] breit und ihre Seiten sind 10 Zoll hoch. Die Seiten öffnen sich immer etwas mehr, je mehr man von der Herdstelle aufsteigt. Sie sind je in der Höhe um einen Zoll [$2^3/_4$ cm] weiter geöffnet, nämlich in der Höhe des Tonnengewölbes sind sie 10 Zoll höher als der Herd. Die Seiten des Tonnengewölbes sind da weiter geöffnet, wo sie mit dem leeren Raum des Ofens in Verbindung stehen. Das Tonnengewölbe ist 5 Fuß [1,6 m] lang und hat eine Öffnung an

jedem Ende. Durch diese beiden Öffnungen schiebt man das Holz ein. Jede Öffnung ist 7 Zoll [19 cm] hoch und 6 Zoll [16 cm] breit. An jeder befindet sich ein Eisenstab, der 18 Linien [4 cm] quer über ihrem Boden hervorsteht. Auf diesem Eisenstab legt man die Holzscheite, so daß sie den Boden des Ofens nicht berühren und infolgedessen rascher brennen. Ein bogengestützter Unterbau ist vorgesehen, um die Häfen zu tragen. Dieser Unterbau ist gestützt gegen die Seiten des Tonnengewölbes [*e*]. Sein Anfang liegt 18 Zoll [49 cm] über der Herdstelle, hier ist er 12 Zoll [$32^1/_2$ cm] breit und nimmt beim Ansteigen ein wenig zu, so daß seine Breite in der Höhe des Unterbaus 17 Zoll [46 cm] beträgt; die Höhe selbst beträgt dort 32 Zoll [87 cm] über dem Heizboden des Ofens. Auf diesen bogengestützten Unterbau wird der große Hafen gesetzt. Dieser ist, immer im Lichten, 16 Zoll [43 cm] im Durchmesser und 8 Zoll [22 cm] hoch. Er hat 8 Stützen [Versteifungsrippen], die von oben nach unten gehen, 18 Linien [4 cm] dick sind, und ihre Breite ist ebenso groß wie die Höhe der Außenseite des großen Hafens. Sie sind in gleicher Entfernung voneinander ganz um seine Außenseite herum angebracht. Alle diese Stützen stemmen sich mit ihrer einen Seite an die Wände des Ofens, mit der andern an den großen Hafen. Eine Öffnung befindet sich in der Höhe des Randes des großen Hafens, und zwar ist es ein rundes Loch von 6 Zoll [16 cm] Durchmesser; man füllt dadurch den Glassatz in den Hafen. Im Ofen ist oben ein großes Loch, wodurch man den Hafen in den Ofen bringt; auch dies ist rund und hat etwa 15 Zoll [= 41 cm] Durchmesser im Lichten. Darauf setzt man einen innen hohlen und außen erhabenen [*f*] Deckel. Er ist am Rande um etwa 2 Zoll [$5^1/_2$ cm] dicker als in der Mitte und in einen Eisenring gefaßt, und zwar am äußeren Deckelumfang, damit er nicht allzu heiß werde. In der Mitte ist der Deckel durchlocht, und zwar hat die Öffnung 7 Zoll [19 cm] Länge und 3 Zoll [8 cm] Breite. Durch dieses Loch wird der Eisenstab geführt, der in den Oberteil des Rührers eingepaßt werden muß, wie man das in der Zeichnung auf Tafel 5 [v] erkennen kann, wo er mit *pp* bezeichnet ist. Auf das Loch legt man eine Eisenplatte mit einem runden Loch, dessen Durchmesser den des Eisenstabs um eine Linie [= $2^1/_4$ mm] überschreitet, was auf der Zeichnung bei *yy* zu finden ist. Diese Zeichnung stellt einen Ofen dar, der um seine Achse geschwenkt werden muß, um das Glas in Formen fließen zu lassen, wogegen der hier beschriebene Ofen unbeweglich ist. Die Häfen sind in beiden Fällen die gleichen ebenso wie der Rührer. Man stellt den kleinen Hafen in den größeren, wie man das auf der gleichen Zeichnung erkennt, man füllt den Zwischenraum zwischen beiden Häfen mit weißem Sande aus. Es ist auch nötig, daß Sand zwischen den [*g*] beiden Häfenböden liegt, und zwar in der ganzen Ausdehnung 4 bis 5 Linien [9 bis 11 mm] dick. Man muß unten an der Wandung des großen Hafens ein Loch machen, um dort den Sand zwischen beiden Häfen zu entfernen, sobald man den kleineren Hafen herausheben will, wenn die Schmelzung vollendet ist. Dieses Loch sollte 18 Linien [= 4 cm] im Durchmesser haben. Will man dadurch den Sand entfernen, so treibt man ihn mit einem Stäbchen gegen das Loch. Hat man die Seiten der Häfen sandfrei, so muß man drei Haken aus Eisendraht nehmen und mit ihnen den Boden des inneren Hafens von unten fassen. Man hält das andere Ende der Haken in den Händen und hebt damit den Hafen aus dem Ofen. Will man den kleinen Hafen in den großen setzen, so bedarf man dazu eines Strickes, der unten am Boden des kleinen Hafens übers Kreuz gezogen ist. Man faßt an den 4 Strickenden an und läßt den kleinen so in den großen Hafen hinab; alsdann zieht man die beiden Stücke Strick heraus, indem man an einem ihrer Enden anfaßt. Alsdann greift man an den Rand des Hafens und versetzt ihn in eine kleine Drehung, was man 7 bis 8mal wiederholt, damit sich der Sand überall gleichmäßig zwischen den Böden der beiden Häfen lagere. Alsdann füllt man die Seitenwände zwischen den Häfen [*h*] mit weißem Sande. Um ihn festzudrücken, bedient man sich einer Holzschiene. Ist alles gerichtet, so setzt man den Rührer auf den Boden des Hafens und den Deckel oben auf den Ofen. Man muß alle Spalten wohl mit ganz gut durchgeknetetem Ton verschmieren, den man zu diesem Zwecke bei der Hand hat. Alsdann bringt man reinen Sand etwa 7 bis 8 Zoll [19 bis 22 cm] hoch auf die ganze Breite des Deckels, aber hütet sich, ihn auch auf die Eisenplatte *yy* der gleichen Zeichnung auf Tafel 5 [v] zu bringen. Um den Ofen aufzubauen, braucht man Steine von 4 Zoll [= 11 cm] Dicke und 7 bis 8 Zoll im Quadrat. Man macht sie aus einem möglichst wenig gefärbten Ziegelton. Sobald diese Steine so weit trocken sind, daß man sie noch mit dem Schlage eines hölzernen Hammers formen kann, setzt man sie

an ihre Stelle und gibt ihnen dann die dort nötige Form. Haben sie ihre richtige Gestalt, so beziffert man sie, um sie nach ihrer völligen Trocknung an ihre richtige Stelle zu bringen. Alsdann baut man den Ofen auf und verbindet die Steine mit demselben wohl durchgemischten Ton [*i*], so daß er aussieht wie dicklicher Brei. Man setzt so einen Stein nach dem andern auf, bis alle ihren Platz haben. Man muß indessen rund um den Ofen herum ein festes Mauerwerk aus Hausteinen aufführen und gut nach dem Senkblei richten, es ist ebenso hoch wie der Ofen, und man füllt den Zwischenraum zwischen der Steinmauer und den Ofenziegeln mit trocknem Sande und Brocken vom Werk alter Öfen aus, wenn sie vorhanden sind. Wenn nicht, so sollte man einige mißratene Ofenziegel dahinein tun. Die Außenfläche der Steinmauer sollte von der inneren Ofenwand etwa 14 Zoll [= 38 cm] abstehen, mit andern Worten, der Ofen solle an seiner schwächsten Stelle, in der Mitte der Ofenhöhe, mindestens 14 Zoll Wanddicke haben. Man muß außen am Mauerwerk den Ofen mit drei Eisenreifen umgeben, sie stehen voneinander gleichweit ab, und der oberste liegt 4 oder 5 Zoll [= 11 bis 13 cm) unter dem oberen Rande des Ofens. Man muß ferner die Innenwand des Ofens mit Fliesen aus gutem Ton etwa dem von [*j*] Lengnau beilegen. Diese Fliesen sind 2 Zoll [= $5^1/_2$ cm] dick und haben eine Seitenlänge von 7 bis 8 Zoll [= 19 bis 22 cm]. Man paßt sie der Innenwand des Ofens durchaus in der gleichen Weise /: wie die ersten :/ an, womit man die vorgenannten Ofenziegel geformt hat: sobald die Ziegel trocken genug sind, daß man ihnen an der inneren Ofenwand ihre Form geben kann, wird jeder an seiner Stelle eingepaßt und beziffert. Alsdann läßt man sie völlig trocknen und bringt einen jeden an seine Stelle. Man verdünnt den Ton von Lengnau so weit, daß er etwa aussieht wie dicklicher Brei. Man befestigt die Ziegel überall, wo sie an die Innenwand des Ofens passen und alle Spalten der Fliesen paßt man gut zusammen und kittet an der Innenwand des Ofens die eine an die andere. Steht alles an richtiger Stelle, so mauert man den bogengestützten Unterbau für die Häfen auf /: und man kann auch den großen :/. Man baut ihn aus guten Ziegeln, ebenfalls aus dem Ton von Lengnau und kittet sie mit der in gleicher Weise verdünnten Tonerde zusammen, wie sie für die Ziegel benutzt wurde. Schließlich bringt man den großen Hafen [*k*] ein und seine Stützen. Man kittet diese an die Wände des Ofens und des Hafens. Um den großen Hafen zu bilden, bedarf man einer Holzform. Man breitet Leinwand an der Innenwand der Holzform aus, und zwar muß die Leinwand schon die nötige Form haben. Man stößt den Ton von Lengnau wohlgeknetet sehr fest zusammen, damit er sich bei der Herstellung nicht von der Innenwand der Form entferne. So belegt man den ganzen Boden und die Seiten der Form, und zwar bringt man einen Teil nach dem andern ein und paßt sie gut zusammen. Alsdann läßt man den Hafen in seiner Form soweit trocknen, daß man ihn unverletzt aus ihr herausbringen kann, und wenn er dann weiter ausgetrocknet ist, so bringt man ihn, wie oben beschrieben, in den Ofen.

Jetzt soll man zur Durchrührung des Glases auf S. 46 ·¦· zurückgehen.

[46] Ich habe Rührer jeder Form gemacht. Bei dem ersten Rührer habe ich einen dicken Eisenhaken zum Rühren des Glases verwandt, der ließ mein Glas von sehr tiefer, braungelber Farbe werden. Drei oder vier Pfund Blei konnten vom Boden des Hafens wieder gewonnen werden, und außerdem war die ganze Schmelze voll von Bleitropfen. Indessen gab es darin einige Stücke frei von Blasen und Wellen, was mir wieder guten Mut machte. Aus dieser Schmelze lernte ich, daß man das Glas nicht mit Eisen berühren dürfe. Man mußte daher das Eisen mit [47] Hafenton bekleiden. Das geschah denn auch, doch ist es sehr schwierig, die Tonhülle an dem Eisenstab haften zu machen. Und obwohl sie daran bleibt, so platzt sie doch und das Glas tritt durch die Sprünge; es kommt mit dem Eisen in Berührung und das verdirbt alle Schmelzen[1]). Ich habe Rührer mit tonumgebenen Haken, mit Windmühlenflügeln, mit Wasserschrauben, mit Butterstößern /: die waren die besten :/ hergestellt. Aber wie man sie auch ausführt und auf welche Weise man auch das Glas rührt, man kann es nicht durchweg gleichartig machen, immer kann man nur einzelne gute Stücke erhalten und bei den schärfsten Proben sieht man, daß immer noch an den meisten Stellen Wellungen vorkommen. (Fortsetzung folgt.)

---

[1]) Tatsächlich dehnt sich das Eisen in der Hitze stärker aus als der Hafenton, und das führt zum Platzen der Hülle, wenn man beides der Hitze aussetzt, die sie doch erleiden müssen.

Referate.

Der Zeitdruck-Registrierapparat von Löbner als Chronograph für sportliche Zeitmessungen.

Abdruck aus der Zeitschrift *Uhrmacherkunst* **53**, *S. 430—432. 1928.*

L'Association Internationale des Automobile-Clubs Reconnus in Paris, La Fédération Internationale des Clubs Motocyclistes in London sowie Union Cycliste Internationale in Paris haben anläßlich ihrer letzten Kongresse den neuen, in allen Kulturstaaten patentierten Zeitdruck-Registrierapparat der auf dem Gebiete der Kurzzeitmessung weltbekannten Uhrenfabrik F. L. Löbner, Berlin W 9, Potsdamer Straße 23, international anerkannt. Dieser Zeitmeßapparat, der in der Wissenschaft, Technik und Industrie bereits viele Anwendungsmöglichkeiten gefunden hat, ist auch für Messungen großer Geschwindigkeiten im Sport, z. B. bei motorsportlichen Veranstaltungen (Rundstrecken-, Berg- und Flachrennen) sowie für Zeitfeststellungen von Rekordversuchen über kurze Strecken, die nach dem internationalen Reglement auf $^1/_{100}$ Sekunde genau zu zeiten sind, vorzüglich geeignet. Die Löbner-Apparate für den Sport (Modelle B, C, D und E) ermöglichen genaueste

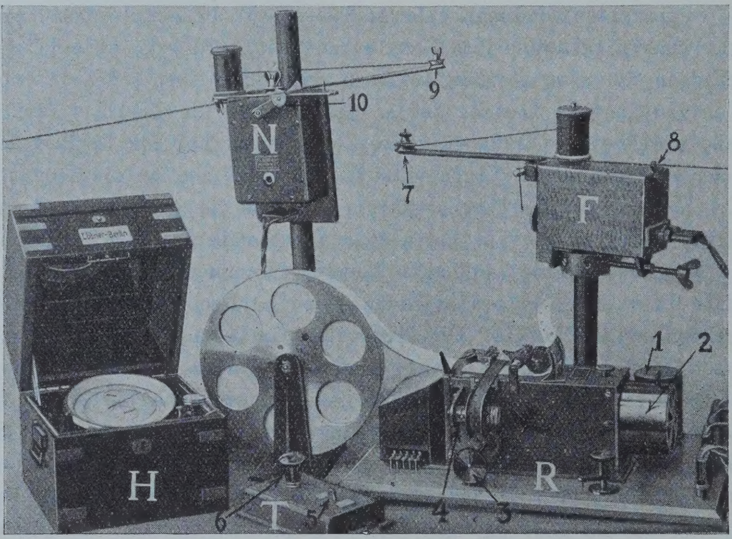


Abb. 1 (Zeitmeßanlage für Geschwindigkeitsrennen).

H Chronometer mit Sekundenkontakt

R Zeitdruck-Registrierapparat:
1. Sekundenrelais
2. Spezialmotor
3. Nullstellung
4. Automat. Farbbandtransport

T Taster:
5. Hebel zum Ein- und Ausschalten des Papiertransportes
6. Druckknopf für Handregistrierungen

F Fernauslösung:
7. Fadenbefestigung
8. Schalthebel

N Nahauslösung: 9. Fadenbefestigung 10. Fallhebel

Feststellungen beliebig vieler, sehr kurz aufeinanderfolgender Zeitmomente, beispielsweise mehrerer Start- und Zieldurchfahrten innerhalb einer Sekunde sowie Festhalten aller gewünschten Zwischenzeiten von beliebigen Punkten der Rennstrecke. Bei Rekordversuchen über kurze Strecken z. B. werden automatisch auf fortlaufendem Papierband alle Durchfahrtzeiten eines Fahrzeuges in Abständen von je 50 m mit laufender Numerierung aufgedruckt. Der Spezialapparat für Leichtathletik und Schwimmsport (Mod. E), der bei den offiziellen Versuchen im Pariser Stadion Colombes besonderes Aufsehen erregte und bei den maßgebenden Sportbehörden sowie in den Fach- und Tageszeitungen begeisterte Würdigung fand, druckt durch die Startpistole ausgelöst vollkommen automatisch nach Zehntel- oder Hundertstelsekunden die Zwischen- und Zielzeiten aller Läufer; außerdem registriert der Apparat selbsttätig die genaue Reihenfolge selbst bei solchen Zielankünften, bei denen die Läufer in dichtem Rudel einlaufen.

Die Löbnersche Zeitmeßanlage ist daher in sinnreicher und solider Konstruktion mit allen, selbst weitesten Anforderungen entsprechenden Vorrichtungen ausgestattet, die für zuverlässige und genaue Zeitnahme unbedingt erforderlich sind. Die Anlage für Sport umfaßt folgende Teile (Abb. 1):

a) Hauptuhr mit Sekundenkontakt (Pendeluhr, Marine-Chronometer oder Beobachtungsuhr usw.),

b) Zeitdruck-Registrierapparat (als Chronograph),

c) automatische Start- und Zielband-Auslösungsapparate oder Start- und Zieltaster für Handbedienung; für Wettläufe noch eine Startpistole mit Kontaktvorrichtung,

d) 12 Volt-Batterie (für den Registrierapparat).

Die Hauptuhr (*H*) dient zur Kontrolle der genauen Zeit und für die jede Sekunde erfolgende Übertragung derselben auf den Registrierapparat. Zu diesem Zweck ist das für seine Funktionen besonders geprüfte Chronometer mit einer Einrichtung für die Sekundenkontaktgabe ausgestattet.

Der Löbner-Zeitdruck-Registrierapparat (*R*), in erstklassiger Präzisionsausführung hergestellt, hat je nach Bedarf Typenscheiben für Stunden-, Minuten- und Sekundenaufdruck, außerdem zwei bis zehn nebeneinanderliegende Markiervorrichtungen für getrennte Registrierungen der Start- und Zieldurchfahrten (|— ←). Auf Wunsch werden diese Markiervorrichtungen in Verbindung mit zwei weiteren Typenrädern, eingraviert die Zahlen von 01 bis 98, 99, 00, eingerichtet (|— 09 ← 24). Durch diese Zählwerke werden alle Startzeiten und Zieldurchfahrten mit laufender Numerierung gesondert registriert. Ein in den Apparat eingebauter Spezialmotor (*2*) mit Ein- und Ausschaltung sowie Regulierschraube gewährleistet unbedingt gleichmäßigen Papierbandablauf von 2, 3, 4 oder 5 cm je Sekunde. Der Spezialapparat zur Messung sehr großer Geschwindigkeiten (Rekordversuche, ballistische Messungen usw.) ist für 10 cm Sekundentransport eingerichtet. Der Aufdruck der gewünschten Sekundenbruchteile in Fünfteln, Zehnteln oder Hundertsteln erfolgt mittels eines besonderen Stempels. Die Breite des Papierstreifens beträgt 30 bis 40 mm. Das ganze Werk, das noch mit besonderer, gemeinsamer Nullstellung (*3*) der einzelnen Typenscheiben des Zeitdruck- und Zählwerkes sowie mit Vorrichtung für selbsttätigen Farbbandtransport (*4*) ausgerüstet ist, wird in eichenem, verschließbarem Transportkasten montiert geliefert.

Im übrigen ist die Konstruktion des Löbner-Apparates insofern äußerst einfach, weil hier die einzelnen Typenscheiben im Vergleich mit anderen, jedoch sehr komplizierten Systemen sich nicht in ständiger Umdrehung befinden, sondern entsprechend ihren Funktionen nur alle Stunden, Minuten oder Sekunden einmal weitergeschaltet werden. Da das Chronometer dem Registrierapparat jede Sekunde nur einen Kontakt gibt, so erübrigen sich die vielen Hilfsgeräte, die bei anderen elektrischen Apparaten der Genauigkeit wegen unbedingt erforderlich sind.

Der Zeitdruck-Registrierapparat wird für sportliche Zeitmessungen in folgenden Ausführungen hergestellt:

Modell C (Abb. 2), für (Stunden-), Minuten-, Sekunden- und Zehntelsekunden-Aufdruck sowie mit zwei Zählwerken für laufende Numerierungen der Start- und Zieldurchfahrten (|— 07 ← 23), mit verstellbarem Papiertransport für 2, 3, 4 oder 5 cm je Sekunde, besonders geeignet für Automobil- und Motorradrennen, Radrennen, Flugveranstaltungen, Pferderennen, Wassersport, Wintersport usw.

Modell D, dieselbe Ausführung und Anwendungsmöglichkeit wie Modell C, die Registriervorrichtungen jedoch ohne Zählwerke (|— ←).

Modell B (Abb. 3), für Minuten-, Sekunden- und Hundertstelsekunden-Aufdruck, mit einer oder zwei Markiervorrichtungen, Papiertransport 5 oder 10 cm je Sekunde, speziell für Messungen sehr großer Geschwindigkeiten, sonst dieselbe Ausführung und Anwendungsmöglichkeit wie Modell D.

Modell E, für (Stunden-), Minuten-, Sekunden- und Zehntelsekunden-Aufdruck, mit verstellbarem Papiertransport von 2 bis 5 cm je Sekunde sowie mit acht nebeneinanderliegenden Markiervorrichtungen. Dieser Apparat ist daher für Zeitnahme bei leichtathletischen und schwimmsportlichen Wettkämpfen besonders geeignet.

Die automatischen Auslösungsapparate, von denen einer (s. Abb. 1) als Fernauslöser (*F*) am Start, der andere als Nahauslösung (*N*) am Ziel aufzustellen ist, sind so eingerichtet, daß sie sowohl durch Berühren eines Bandes oder Fadens als auch durch Überfahren eines Schlauches oder Brettes die Registrierungen bewirken. Die Start- und Zielbänder können hierbei in jeder Höhe straff über die Bahn gespannt werden. Vor jeder Start- und Zieldurchfahrt eines Fahrzeuges wird der Kon-

takthebel (*8* bzw. *10*) auf das Band gelegt, der bereits bei geringster Berührung des Fadens abgleitet und sofort den Kontakt für die Zeitmarkierung auf den Registrierapparat überträgt. Die Kontaktgabe erfolgt somit in dem Augenblick, wo das Fahrzeug den Faden berührt, also noch bevor dieser mitgezogen bzw. zerrissen wird. Selbstverständlich kann das bei dieser Vorrichtung sehr einfache Spannen des Start- und Zielbandes durch Legen eines am Erdboden zu befestigenden Kontaktschlauches ersetzt werden. Nach den bisherigen Erfahrungen, die man bei motorsportlichen Veranstaltungen mit solchen Gummischläuchen gemacht hat, ganz gleich, ob sie Wasser, Luft oder Kontaktbänder enthalten, erscheint hinsichtlich Zuverlässigkeit und Genauigkeit eine 30 cm vom Erdboden straff gespannte Bandauslösung am geeignetsten, weil solche auch keinerlei Gefahrenquellen sowohl für das Fahrzeug (durch Überschlagen und Hochspringen des Schlauches) wie für die Zeitnahme (Versagen infolge Überspringen des Schlauches, durch Dopelkontakte oder Brechen der Kontaktfedern, Schlauchausdehnung bei veränderter Temperatur usw.) bietet.

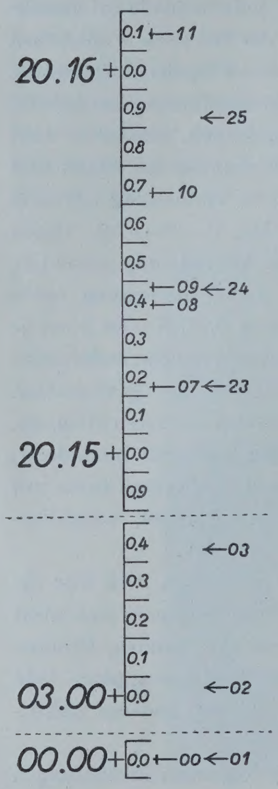


Abb. 2, Modell C
mit zwei die Registrierungen **numerierenden** Markiervorrichtungen, Sekundenlänge 5 cm.

Startdurchfahrten:

1.	bei	00	Min.	00,00	Sek.
2.	„	03	„	00,00	„
3.	„	03	„	$00^{4}/_{10}$	„
23.	„	20	„	$15^{2}/_{10}$	„
24.	„	20	„	$15^{4}/_{10}$	„
25.	„	20	„	$15^{9}/_{10}$	„

Zieldurchfahrten:

7.	bei	20	Min.	$15^{2}/_{10}$	Sek.
8.	„	20	„	$15^{4}/_{10}$	„
9.	„	20	„	$15^{4}/_{10}$	„
10.	„	20	„	$15^{7}/_{10}$	„
11.	„	20	„	$16^{1}/_{10}$	„

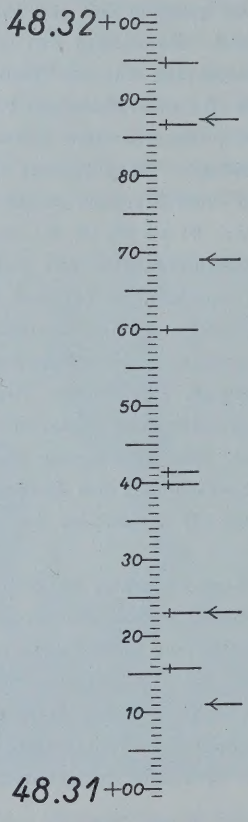


Abb. 3, Modell B
mit zwei Registriervorrichtungen **ohne** Numerierwerk, Sekundenlänge 10 cm.

Startdurchfahrten:

bei	48	Min.	$31^{11}/_{100}$	Sek.
„	48	„	$31^{23}/_{100}$	„
„	48	„	$31^{69}/_{100}$	„
„	48	„	$31^{87}/_{100}$	„

Zieldurchfahrten:

bei	48	Min.	$31^{16}/_{100}$	Sek.
„	48	„	$31^{23}/_{100}$	„
„	48	„	$31^{40}/_{100}$	„
„	48	„	$31^{41}/_{100}$	„
„	48	„	$31^{60}/_{100}$	„
„	48	„	$31^{87}/_{100}$	„
„	48	„	$31^{95}/_{100}$	„

Einen wesentlichen Vorteil bildet der für gewöhnlich am Startplatz aufzustellende automatische Fernauslöser von Löbner, der mit dem am Ziel befindlichen Zeitdruck-Registrierapparat durch zwei Zuleitungen zu verbinden ist. Dieser Fernauslöser ist selbst als Stromerzeuger ausgebildet und arbeitet somit für weiteste Entfernungen (durchschnittlich bis zu 50 km) ohne Akkumulatoren. Solche Auslösungsapparate gelangten bereits 1926/27 bei bedeutenden motorsportlichen Veranstaltungen (bei längeren Berg- und Flachrennen) zur Anwendung und haben sich jedesmal — ohne einen einzigen Versager — bestens bewährt. Durch diese Auslösungen sind daher die bekannten Gefahrenquellen der bisherigen „elektrischen" Zeitnahmemethoden vollkommen ausgeschaltet.

Zum Schluß seien noch einige besonders wichtige Vorzüge des Löbner-Zeitmeßapparates hervorgehoben:

Der Apparat ermöglicht in kürzester, ununterbrochener Aufeinanderfolge beliebig viele Zeitmessungen: automatisch bis zu 150 Messungen innerhalb einer einzigen Sekunde (Mod. E).

Das Ein- und Ausschalten des Spezialmotors (*2*) für den Ablauf des Papierbandes kann sowohl durch Handtaster (*T 5*) wie automatisch durch eine Kontaktvorrichtung vor und hinter der Ziellinie erfolgen. Je nach Bedarf kann der Papiertransport erst kurz vor einer Messung, etwa eine Sekunde vorher, eingeschaltet und, falls weitere Fahrzeuge nicht in Sicht sind, nach dem Zeitaufdruck sofort wieder ausgeschaltet werden. Man erhält dadurch auf kurzem Papierband übersichtlich alle Resultate einer ganzen Veranstaltung.

Da der Aufdruck aller Durchfahrten am Start und Ziel in getrennten Reihen bewirkt wird, so werden zufällig im selben Moment erfolgende Start- und Zieldurchfahrten ohne gegenseitige Störung nebeneinander registriert. Erfolgen bei einem Bergrennen beispielsweise der 23. Start und die 7. Zieldurchfahrt zu gleicher Zeit, so werden diese beiden Vorgänge auf dem Papierstreifen (neben dem Zeitaufdruck) wie folgt aufgestempelt: 20.15,2|— 07 ←— 23 (vgl. Abb. 2).

Der Registrierapparat hat einen von Sekunde zu Sekunde gleichmäßigen Papiertransport, der durch die Feinregulierung des Spezialmotors (*2*) für jede gewünschte Laufgeschwindigkeit des Papierbandes (2, 3, 4 oder 5 cm je Sekunde) verstellbar ist. Bei 5 cm Sekundenlänge z. B. entspricht ein ganzes Zentimeter einer Fünftelsekunde bzw. ein halbes Zentimeter einer Zehntelsekunde, so daß bei diesem großen Sekundenabstand auch ungeübten Funktionären leichtes und schnelles Ablesen der gewünschten Sekundenbruchteile möglich ist. Für solche Rennen, die nur nach Fünftelsekunden zu zeiten sind, genügt daher ein Papiertransport von 2 oder 3 cm je Sekunde.

Der große Sekundenabstand auf dem Papierstreifen gestattet ferner für solche Fälle, wo zwei Fahrer die gleiche Zeit nach Fünftel- oder Zehntelsekunden erzielt haben (vgl. Abb. 2, bei *20.15,4*), noch genauere Auswertung nach Zwanzigstel- und Fünfzigstelsekunden, so daß bei dieser Methode in einfachster Weise die Feststellung einer unterschiedlichen Plazierung erfolgen kann.

Der Spezialapparat für Rekordversuche wird für 5 oder 10 cm Sekundentransport geliefert (Abb. 3). In letzterem Falle entspricht ein Millimeter einer Hundertstelsekunde. Durch besonderen Stempel erfolgt der Aufdruck der Fünfzigstel- und Hundertstelsekunden.

Der große und genaue Sekundentransport, der übrigens bis auf 25 cm je Sekunde erreicht wird (Mod. F), gestattet für wissenschaftliche Messungen mittels der bekannten Hilfsmittel ein Interpolieren bis zu Tausendstelsekunden.

Das Papierband mit den selbsttätig gedruckten Aufzeichnungen der verschiedenen Zeitergebnisse und der unterschiedlich numerierten Start- und Zieldurchfahrten bildet daher ein ohne menschliche Beeinflussung entstandenes und jederzeit nachprüfbares, unantastbares Dokument.

Die Zeitmeßanlage ist verwendbar für alle Rennen von kürzester und längster Dauer. Da ferner das Chronometer (*H*) von den Funktionen des Registrierapparates (*R*) unabhängig ist, so arbeitet die Zeitmeßanlage selbst bei tagelanger und ununterbrochener Tätigkeit unbedingt zuverlässig und genau.

Nach Beendigung eines Rennens können die Typenräder des Zeitdruck- und Registrierwerkes innerhalb einer Sekunde in die Nullstellung (*3*) zurückgebracht werden.

Das bei Rundstreckenrennen nach Abwicklung der Starts freigewordene Startregistrierwerk kann durch einfache Umschaltung ebenfalls für Registrierungen der Zieldurchfahrten (neben dem anderen Zielregistrierwerk) verwendet und von einem zweiten Zeitnehmer zur Gegenkontrolle des anderen mittels des Tasters (*T 6*) bedient werden.

Bei Anwendung der automatischen Auslösungsapparate arbeitet die Zeitmeßanlage vollkommen selbständig und bietet, da sie für alle Rennen verwendet werden kann, noch den Vorteil, für die Zukunft die Organisation und den Funktionärdienst sportlicher Veranstaltungen wesentlich zu vereinfachen. Insbesondere sei noch hervorgehoben, daß der Apparat die Funktionen der großen Anzahl Stoppuhren, die bei einem Rennen zur Verfügung stehen müssen, vollkommen ersetzt und hinsichtlich seiner Genauigkeit und Zuverlässigkeit die bekannten Mängel der alten Stoppmethode, insbesondere der Handzeitnahme, ausschaltet.

Der gesamte Zeitmeßapparat nebst Zubehör ist praktisch und handlich für Transport eingerichtet.

Auf Grund dieser Vorzüge ist der Löbner-Zeitdruck-Registrierapparat ein wertvoller Zeitmesser nicht allein für Automobil- und Motorradrennen, sondern auch für andere sportliche Wettbewerbe, beispielsweise für Flugsport, Wassersport, Radrennen, Leichtathletik usw. Auch für Eignungsprüfungen von Zeitnehmern sowie zur Zeitnahme zwecks Errechnung der Bremsgeschwindigkeiten von Fahrzeugen wie überhaupt für alle wissenschaftlichen und technischen Zeitmessungen ist dieser Apparat sehr geeignet.

Gebrauch und Prüfung von Blutdruckmessern.

(Use and Testing of Sphygmomanometers.)

Von J. L. Wilson, H. N. Eaton und H. B. Henrickson. *Technologie Pap. Bur. of Stand.* **21.** *No. 352. 1927. 36 S.*

Eine eingehende Untersuchung von Instrumenten zur Prüfung des arteriellen Blutdrucks ist während des Krieges von der Abteilung für aeronautische Instrumente des *Bureau of Standards* unternommen und später grundlegend erweitert worden, worüber in der vorliegenden Arbeit berichtet wird. In der Einleitung werden die für Blutdruckmessungen charakteristischen Verhältnisse des menschlichen Blutkreislaufs besprochen. Im allgemeinen werden bei klinischen Messungen zwei Phasen berücksichtigt, der geringste (diastolische) Druck am Schluß der Erschlaffungsperiode des Herzens, der als Maß für den peripherischen Reibungswiderstand des Gefäßsystems plus einer auf die elastische Kontraktion (Tonus) der Gefäßwände zurückgehenden Größe angesehen werden kann und der maximale (systolische) Druck, der zur Zeit der stärksten Zusammenziehung des Herzens in der Arterie herrscht. Beide Drucke hängen von den verschiedensten den allgemeinen Blutdruck beeinflussenden Faktoren ab. Der systolische Druck liegt normalerweise zwischen 90 und 140 mm Hg, der diastolische zwischen 60 und 100 mm Hg. Die Messung erfolgt stets in der Weise, daß der Indikator nicht in direkter Verbindung mit dem Inneren des Gefäßes steht. Ein Gummischlauch wird — meist oberhalb des Ellbogens — um den Arm des Patienten gelegt und soweit aufgepumpt, bis der Blutstrom ganz gestaut ist oder nur während eines Teils der Periode fliesen kann. Ist der Druck so hoch, daß die Arterie eben ganz geschlossen ist, so wird der äußere Druck (im Gummischlauch) gleich dem systolischen Druck angenommen und entsprechend gleich dem diastolischen Druck, wenn die Arterie nur während der Zeit des allerniedrigsten Druckes im Kreislauf abgesperrt ist. Zur Indikation dieser Punkte kann das Fühlen des Pulses, besser die Schwankungen des Manometers und — nach allgemeiner Ansicht am empfindlichsten — das Abhorchen des Pulses unmittelbar hinter der Meßstelle mit dem Stethoskop dienen. Die Messungen geben zwar nie den wahren Wert des arteriellen Blutdrucks, sondern nur relative Werte, was aber für den klinischen Gebrauch unwesentlich ist. Eingehend werden die Druckindikatoren behandelt. Es werden Quecksilber-, Kompressions- und Aneroidmanometer verwendet. Von den verschiedenen Formen der U-Rohr-Quecksilber-, Gefäßmanometer und Aneroide bringt die Arbeit Konstruktionsschemata und Photos. Ihre Meßgenauigkeit und der Einfluß von Fehlern wurde theoretisch und experimentell untersucht. Was das rein manometrische anbelangt, gibt es dabei gegenüber der Prüfung von Mikromanometern und Aneroiden wenig neue Gesichtspunkte. Diejenigen Flüssigkeitsmanometer, bei denen der Druck durch die Krompression eines abgeschlossenen Luftvolumens gemessen wird, werden wenig verwendet und sind weniger eingehend behandelt, desgl. registierende Sphygmomanometer. Zur Prüfung der zahlreichen dem *Bureau of Standards* eingesandten Blutdruckmesser wurde ein Standardinstrument (Gefäßmanometer) mit einer Ablesegenauigkeit von 0,1 mm Hg konstruiert, welches unter Anwendung aller Korrektionen und sorgfältiger Bedienung im Laboratorium eine reproduzierbare Meßgenauigkeit von 0,5 mm Hg oder etwas mehr ergibt. Die zu prüfenden Instrumente wurden von 30 zu 30 mm Hg bei steigendem und fallendem Druck geeicht. Als Ergebnis einer großen Reihe von Untersuchungen wurden Prüfungsregeln und im Einvernehmen mit medizinischen Autoritäten Toleranzen für im *Bureau of Standards* zu prüfende Blutdruckmesser aufgestellt. *Sewig.*

Ein Vakuum- Hitzdrahtmanometer.

(A Hot Wire Vacuum Gauge.)

Von A. M. Skellett. *Journ. Opt. Soc. of America* **15.** *S. 56—58. 1928.*

Das beschriebene Hitzdrahtmanometer ist eine Modifikation des Apparates von Pirani. Der Hitzdraht befindet sich in einem Rohr, welches an den Rezipienten angeschmolzen wird, in dem der Druck gemessen werden soll. Das Rohr mit dem Hitzdraht steht in einem Thermostaten, da das Instrument gegen Änderungen der Außentemperatur sehr empfindlich ist. Der Draht wird über einen fein regelbaren Widerstand geheizt und die Temperaturänderungen durch die Schwankungen der Klemmenspannung mit einem an die Klemmen des Hitzdrahtes angeschlossenen feinen Galvanometer gemessen. Zur Erzielung möglichst hoher Empfindlichkeit ist der Nullausschlag des Galvano-

meters (bei höchstem erreichbaren Vakuum) durch eine HilfsEMK kompensiert. Besondere Mittel zur Konstanthaltung des Heizstroms scheinen nicht vorhanden zu sein. Die Kurve, in welcher der Druck gegen die Galvanometerausschläge aufgetragen ist, verläuft von 0 bis 0,2 mm Hg genau linear. Die Eichdrucke wurden wegen der Ungenauigkeit des Mc Leod bei hohen Kompressionen dadurch hergestellt, daß man aus einem Hilfsbehälter, dessen Druck, mit dem Mc Leod gemessen war, verschieden lange Zeit Gas durch eine sehr dünne Düse ins Hochvakuum eintreten ließ. Es wurden mit dem Instrument Drucke bis herunter auf $6 \cdot 10^{-6}$ mm Hg gemessen. Die Grenze des Meßbereichs und der Meßgenauigkeit ist durch die Schwankungen der Akkumulatoren und die Empfindlichkeit des Meßinstrumentes gegeben. *Sewig.*

Definitionen pyrometrischer Ausdrücke.

(Definitions of pyrometric terms.)

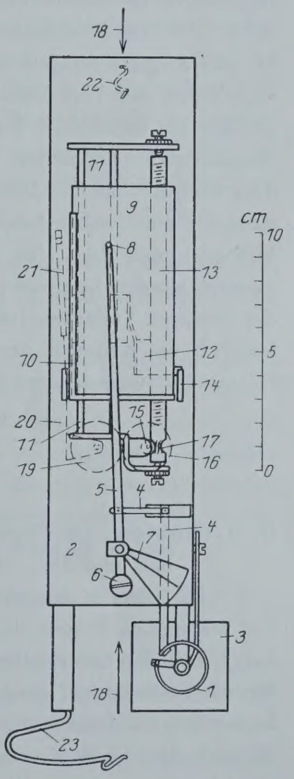
Von der *Association of Scientific Apparatus Makers.. Journ. Opt. Soc. of America* ***14****. S. 346—348. 1927.*

Von der vorstehenden Körperschaft wird eine Reihe von in der Thermometrie und Pyrometrie üblichen Ausdrücken zum allgemeinen Gebrauch vorgeschlagen und ihre Bedeutung umschrieben. Es handelt sich um die Bezeichnungen: Thermometer, Pyrometer, Widerstandsthermometer, Strahlungspyrometer, optisches Pyrometer, Thermoelement, thermoelektrisches Pyrometer, warme und kalte Lötstelle, Genauigkeit, Empfindlichkeit. *Sewig.*

Das Wärmelot, ein Gerät zum Aufzeichnen der Tiefentemperatur in stehendem Gewässer.

Von Wilhelm Schmidt, *Wiener Sitzungsber. Math.-Naturwiss. Kl.* ***136****. S. 481—486. 1927.*

Der Verfasser hat bereits 1913 versucht, eine fortlaufende Aufzeichnung der Temperatur längs der Vertikalen in stehenden Gewässern zu erhalten, und ein dazu geeignetes Gerät angegeben. Das Instrument befriedigte ihn aber nicht, insbesondere weil es die Tiefenskala verzerrte. Nunmehr standen ihm die Mittel zur Verfügung, eine Neukonstruktion durchzuführen, die er in der vorliegenden Abhandlung beschreibt.



Die sinnreiche Anordnung soll an der Hand der auch hier beigegebenen Skizze erläutert werden. Das empfindliche Organ, der Bimetallkörper (1), ist in einem besonderen, mit der Grundplatte (2) starr verbundenen Gehäuse (3) angeordnet. Das Gehäuse ist mit Vorrichtungen versehen, die eine Bespülung des Bimetallstreifens durch das Wasser gewährleisten. Die Bewegungen des Thermokörpers werden durch das Hebelgestänge (4) auf den Schreibhebel (5) übertragen. Dieser ist durch das Gewicht (6) einigermaßen ausbalanciert und gegen pendelnde Schwingungen durch die Dämpfung (7) weitgehend gesichert. An seinem Ende trägt er eine Steinspitze (8), die auf der berußten Platte (9) den Verlauf der Temperatur markiert. Der Rahmen (10), durch eine Schiene (11) geführt, hält die Platte; an ihm ist die Halbmutter (12) unter Zwischenschaltung einer Feder befestigt, die federnd auf der Spindel (13) aufliegt und durch den Hebel (14) ausgerückt werden kann. Liegt die Halbmutter der Spindel an, so erteilt eine Drehung der Spindel der Platte einen Vorschub. Die Drehung der Spindel wird erzeugt durch die Schneckenschraube (15) auf der Achse der Rolle (16), die in den Schneckentrieb (17) am Ende der Spindel eingreift. Die Rolle (16) rollt an dem durch die Pfeile (18) angedeuteten versenkten und durch ein Gewicht gestrafften Lotdraht (Leine) ab, was durch die Rolle (19), die den Draht unter dem Druck der Feder (20) gegen die Antriebsrolle (16) preßt, sicher gestellt wird. Die Druckrolle kann durch den Heb (21) ausgerückt werden. Das Schreibwerk mit Getriebe ruht auf der erwähnten Grundplatte und wird durch einen Kasten aus Blech (Aluminium), der Wasser durchläßt, gegen grobe Beschädigungen geschützt. Durch eine Drahtspirale (22), die um den Lotdraht greift oben geführt, wird das Gerät

unten durch die Feder (23) aus Messingdraht gegen Beschädigungen bei dem Aufprall auf das Beschwerungsgewicht des Drahtes gesichert.

Im Gebrauch hat sich als zweckmäßig herausgestellt, die Sinkgeschwindigkeit des Gerätes an dem Leitdraht unter 0,5 m/sek zu halten, was sich mit Hilfe eines Planktonnetzes, das man nachschleppen läßt, oder eine ähnliche „fallschirmartige" Bremseinrichtung leicht erreichen läßt. Das Ende der Messung tut sich durch den Aufprallstoß, den der Lotdraht nach oben überträgt, kund. Mit dem Lotdraht zusammen wird das Gerät eingeholt. Eine Verstellung der Registrierplatte kann dabei nicht erfolgen. Die Platte wird getrocknet, fixiert und ausgemessen.

Die abgebildete photographische Vergrößerung einer Aufzeichnung läßt den Verlauf einer Temperaturlotung mit vielen Einzelheiten, die bei Anwendung anderer Methoden nicht erfaßt werden, deutlich erkennen. Da die Lotung bis auf 30 m Tiefe nur 1,5 min dauert, ist ein Zeiteinfluß praktisch nicht zu befürchten. Die Lotung ergibt demnach den augenblicklichen vertikalen Temperaturverlauf. Bei der hohen spezifischen Wärme des Wassers hat sich der Bimetallkörper mit seiner großen Oberfläche bei kleiner Masse und einer Empfindlichkeit von 0,1—0,05° C bewährt und für den Zweck als völlig ausreichend erwiesen. Das geringe Gewicht des Gerätes — weniger als 900 g — und seine kleinen Abmessungen sind weitere Vorteile, insbesondere für Forschungsexpeditionen. Mit diesem in jeder Hinsicht sinnreichen, zweckvoll durchgearbeiteten Instrument und der sorgfältigen Beschreibung hat der Verfasser sein großes Können auf instrumentellem Gebiet erneut überzeugend unter Beweis gestellt. *W. Keil.*

Über Einstellsicherheit bei elektrischen Meßgeräten.

Von Dr.-Ing. Bubert. *Die Meßtechnik* **3**. *S. 315—318, S. 351—354. 1927.*

Die Einstellsicherheit bei Meßgeräten ist gegeben durch das Verhältnis des Drehmoments, das das bewegliche Organ in die Gleichgewichtslage treibt (Einstellmoment) zum Reibungsmoment in den Lagern. Unter besonderer Berücksichtigung der elektrischen Meßgeräte wird gezeigt, dass im allgemeinen die mechanische Richtkraft nicht allein für das Einstellmoment maßgebend ist und daß daher z. B. bei Weicheiseninstrumenten und bei Elektrodynamometern die Einstellsicherheit nicht für alle Zeigerstellungen die gleiche ist. Man ermittelt das Einstellmoment meist in der Weise, daß man durch das Instrument einen Strom schickt, der die gewünschte Zeigerstellung hervorruft und alsdann ein zusätzliches Drehmoment auf den Zeiger wirken läßt, das eine Ausschlagsänderung von einigen Graden hervorruft. Dann entspricht das Verhältnis von Zusatzmoment und Ausschlagsänderung dem Einstellmoment. Diese Methode ist anwendbar, auch wenn die inneren Vorgänge in dem Instrument nicht näher bekannt sind. Ist man sich jedoch über diese im klaren, so führen noch andere Methoden zum Ziel. Die Vorgänge in den eisenlosen elektrodynamischen Strom- und Spannungsmessern werden besprochen und es wird für diese Instrumente eine einfache Methode zur Ermittlung des relativen Verlaufes des Einstellmomentes und des möglichen Reibungsfehlers angegeben, bei der lediglich die Kenntnis der Skalenform des Instrumentes erforderlich ist. Die auf diese Weise an einigen Instrumenten ermittelten Kurven werden mitgeteilt.

Lh.

Bücherbesprechungen.

O. D. Chwolson, Die Physik 1914—1926. Aus dem Russischen übersetzt von G. Kluge. 8°. IX, 696 S. und 104 Abb. Braunschweig 1927, Friedr. Vieweg & Sohn. Geb. 38 RM.

In siebzehn ausgewählten Kapiteln werden von dem bekannten russischen Forscher einige der wichtigsten Fragen der modernen Physik behandelt, die in der Hauptsache mit der Bohrschen Lehre und der Quantentheorie zusammenhängen. Die Art der Darstellung, die allen, die sich mit Physik beschäftigen, genügend aus dem weitverbreiteten Lehrbuch der Physik des Verfassers bekannt ist, ist didaktisch einwandfrei und übersichtlich. Im einzelnen umfaßt das Buch folgende Kapitel: Die Ladung und Masse des Elektrons (23 S.), Die Lehre von den Quanten (26 S.), Der Bau des Atoms (56 S.), Der Atombau bei $Z > 1$ (29 S.), Die Lehre von den Linienspektren (56 S.), Die Röntgenstrahlen (74 S.), Die Bandenspektren (21 S.), Die ultravioletten und infraroten Strahlen (16 S.), Erregung und Ionisation der Gase durch Elektronenstöße (50 S.), Die Quantentheorie des

Lichtes (53 S.), Photoelektrische Erscheinungen (51 S.), Photolumineszenz (31 S.), Verschiedene Anwendungen der Bohrschen Theorie und der Quantenlehre (36 S.), Die Isotopen (57 S.), Die Supraleiter (20 S), Der neue Versuch von Michelson 1925 (10 S.), Die elektromagnetische Spektroskopie der Metalle (33 S.). Am Schluß eines jeden Kapitels ist die Literatur, die vor allem die seit Beginn des Krieges bis Anfang 1926 erschienenen Zeitschriften umfaßt, in der Reihenfolge der Verwendung zusammengefaßt.

Wenn auch der Band nur als Ergänzungsband zu der vor wenigen Jahren erschienenen 2. Auflage des Chwolsonschen Lehrbuches der Physik, in der die neuere Literatur noch nicht verarbeitet werden konnte, gedacht ist, so kann er jedoch auch als Ergänzung zu den Lehrbüchern anderer Verfasser, die in den letzten Jahren keine Neuherausgabe erfahren haben, wärmstens empfohlen werden. Gerade der Umstand, daß die Herausgabe infolge des Fehlens der wichtigsten Zeitschriften und Bücher seit 1914 in Rußland verursacht wurde, macht den Band allen denjenigen sehr wertvoll, die sich über die Entwicklung der modernen Physik in dem letzten Jahrzehnt unterrichten wollen, ohne sich noch einmal durch die ganze Entwicklung des betreffenden Gebietes durcharbeiten zu müssen. Der Wert des Buches wird noch dadurch erhöht, daß der Verfasser ausführlich auf die einzelnen Meßapparate und Versuchsmethoden eingeht. Selbst wenn an vereinzelten Stellen der Darstellung Lücken und kleine Fehler bemerkt werden, die durch das historische Werden des Bandes bedingt sind, so wird dadurch der hohe Wert des Buches keineswegs herabgesetzt. *Otto.*

H. J. Gramatzki, Leitfaden der astronomischen Beobachtung. 8⁰. Berlin u. Bonn 1928, Ferd. Dümmler. 111 S. mit 35 Abb. und 3 Tafeln.

Das kleine Büchlein, das als Anleitung für Liebhaberastronomen und als Hilfsbuch für den neuzeitlichen astronomischen Unterricht in den höheren Schulen gedacht ist, gibt einen Überblick über die Methoden und Ziele der astronomischen Beobachtung, soweit sie für den Nichtfachmann in Frage kommt. Von den einfachen Wahrnehmungen, die das unbewaffnete Auge am Sternhimmel beobachtet, führt die Darstellung des Verfassers zu den schon Übung und Erfahrung erfordernden Beobachtungen mit kleineren Refraktoren und in Verbindung mit diesen benutzten einfacheren Mikrometern und Photometern. Dabei kommen die rein instrumentellen Fragen nicht zu kurz; im Gegenteil, der Verfasser behandelt sie erfreulicherweise sehr eingehend. Die große Zahl aus eigener und fremder Erfahrung erwachsenen Winke für die Beobachtungspraxis machen das Buch, dem ein Verzeichnis von Objekten für Fernrohre kleinerer Öffnung beigegeben ist, zu einem gediegenen Mentor des Liebhaberastronomen. *W. Keil.*

H. v. Sanden, Mathematisches Praktikum I. Bd. 27 von Teubners Technischen Leitfäden. 8⁰. IV, 122 S. m. 17 Fig. im Text sowie 20 Zahlentafeln im Anhang. Leipzig und Berlin 1928, B. G. Teubner. Geb. 6,80 RM.

Das Buch, eine wertvolle Bereicherung der oben genannten Teubnerschen Sammlung, ist der Pflege der praktischen Mathematik gewidmet. Sein Hauptzweck ist, „die Anwendbarkeit der Mathematik auf technische Probleme durch Behandlung vernünftiger Beispiele zu betonen“, und in die Technik des ökonomischen Zahlenrechnens einzuführen. In den der Einleitung folgenden sechs Kapiteln werden behandelt: Rechenschieber, Satz von Taylor, Auflösung von Gleichungen, Ausgleichsrechnung, Integration, Differentation und Interpolation, harmonische Analyse. Ein zweiter Band über die numerische Behandlung der Differentialgleichungen ist in Aussicht gestellt. *G.*

O. Eggert und **F. Koll,** Geodätische Rechnungen mittels der Rechenmaschine. 97 S. mit 47 Fig. Stuttgart 1927, Konrad Wittwer. Geb. 7 RM.

Das Buch ist die durch Neubearbeitung entstandene zweite Auflage des im Jahre 1903 von O. Koll unter demselben Titel erschienenen Buches; es ist eingeteilt in zwei Teile, von denen der erste — von F. Koll bearbeitete — sich mit der Einrichtung und dem Gebrauch der Rechenmaschinen beschäftigt, in dem zweiten — von O. Eggert bearbeiteten — Teil sind geodätische Rechnungen behandelt.

In dem den Rechenmaschinen gewidmeten Abschnitt werden zunächst die den Rechenmaschinen — gemeint sind dabei solche für alle vier Grundrechnungsarten — gemeinsamen Haupt-

teile — Einstellwerk, Umdrehungszählwerk, Hauptzählwerk, Löschvorrichtungen, Zehnerübertragung und Schlittenverschiebung — sowie Sondereinrichtungen — zweites Hauptzählwerk und Aufspeicherungswerk — unter Hinweis auf bekannte Maschinen in klarer und übersichtlicher Weise besprochen. Im Anschluß daran werden die Staffelwalzenmaschinen, die Sprossenradmaschinen, die Maschinen mit Einmaleinskörpern oder eigentliche Multipliziermaschinen und Maschinen mit besonderer Bauart — Mercedes-Euklid, Hamann-Manus und Hannovera — behandelt. Der ganze Abschnitt ist mit guten Abbildungen von Rechenmaschinen der verschiedenen Bauarten ausgestattet.

Der Abschnitt über geodätische Rechnungen enthält Anleitungen zur Lösung der wichtigsten Aufgaben der Vermessungskunde mit Hilfe der Rechenmaschine; den Lösungen sind zweckentsprechend angeordnete, den Gang der Rechnung festlegende Vordrucke mit durchgeführten Zahlenbeispielen beigegeben.

Mit Rücksicht auf seine große praktische Bedeutung ist die Neubearbeitung des Buches besonders zu begrüßen; alle, die mit geodätischen Rechnungen zu tun haben, werden es nicht ohne Nutzen zur Hand nehmen. Im Zusammenhang damit muß aber auch an dieser Stelle auf die „Fünfstellige vollständige trigonometrische und polygonometrische Tafeln für Maschinenrechnen“ von F. G. Gauss (vierte und fünfte Auflage. Stuttgart 1925, Konrad Wittwer) hingewiesen werden, durch die erst die Vorteile der Rechenmaschine ganz zur Geltung kommen. *P. W.*

Dr.-Ing. J. Geiger, Mechanische Schwingungen und ihre Messung. 8°. XII, 305 S. m. 290 Textabb. u. 2 Tafeln. Berlin 1927, Julius Springer. Geb. 24 RM.

Der Verfasser hat sich zur Aufgabe gemacht, die in der Literatur reichlich vorliegenden theoretischen Abhandlungen über Schwingungsfragen nach der meßtechnischen und experimentellen Seite zu ergänzen, selbstverständlich unter voller Berücksichtigung der mathematischen Grundlagen. Aus dem reichen Inhalt des sehr anschaulich geschriebenen Buches seien hier hervorgehoben die Abschnitte: Theorie des Verhaltens der Meßinstrumente in schwingungstechnischer Beziehung, die Beschreibung der wichtigeren Meßgeräte für mechanische Schwingungen, praktische Untersuchung von Schwingungen, Abhilfemaßnahmen bei störenden Schwingungen und nutzbringende Anwendung von mechanischen Schwingungen. Das Werk ist damit als wichtiges Hilfsmittel für den konstruierenden Ingenieur und Physiker herausgestellt. *G.*

J. Zingler, Theorie der zusammengesetzten Waagen (Waagen mit Gewichtsschale, Laufgewichtswaagen, Neigungswaagen, Balkenwaagen, Brückenwaagen). 8°. IV, 203 S. m. 53 Abb. Julius Springer, Berlin 1928. Geb. 15,— RM.

Während die Theorie der feineren gleicharmigen Balkenwaage wohl als völlig abgeschlossen bezeichnet werden kann, ist das gleiche für die technisch ungemein wichtige große Waage durchaus nicht der Fall. Vielmehr liegt nur, wenigstens wenn man sich auf die hochwertige Literatur beschränkt, recht wenig Material vor. Die vorliegende Schrift eines anerkannten Fachmannes auf diesem Gebiet ist daher sehr zu begrüßen, um so mehr als ihr Inhalt das in Rede stehende Gebiet erheblich zu fördern geeignet ist. Mit großer Ausführlichkeit behandelt die Schrift in mathematisch ganz elementarer Weise, im wesentlichen unter Beschränkung auf die statischen Verhältnisse die allgemeinen Gesetze derartiger Waagen, sodann die Waagenformen mit fester Einspielstellung in den Typen der Waagen mit Gewichtsschale und Gegengewichten und als Laufgewichtswaagen. Besonders ausführlich ist in diesem Abschnitt die Untersuchung der fertigen Waage behandelt, sowie die Möglichkeiten und Verfahren ihrer Justierung. Der letzte Teil bringt endlich die Theorie der neuerdings zu besonderer Bedeutung gelangten Neigungswaagen, mit der Beschränkung auf die Formen mit Lastschneide am Neigungshebel und mit Kurvenscheibe und Stahlband.

Es wäre zu begrüßen, wenn der Herr Verfasser auch noch eine Theorie der schwingenden Großwaage folgen ließ. *Block.*

Jo Engel, Der tönende Film. Sammlung Vieweg, Heft 89. 8°. 98 S. m. 59 Abb. Braunschweig 1927, Friedr. Vieweg & Sohn A. G. Geh. 6,50 RM.

Die vorliegende Schrift gibt erstmals einen zusammenfassenden Bericht über die wissenschaftlichen und technischen Grundlagen des „Tönenden Films“, an deren Ausbau der Verfasser hervorragende Verdienste hat. Den technisch gebildeten Leser werden fast noch mehr als der Gesamt-

effekt der Arbeiten die Darstellung der Einzelheiten fesseln, zu deren Ausbildung alle modernen Fortschritte der Physik dienstbar gemacht wurden. Zu bedauern ist, daß das Format der Sammlung stellenweise die Deutlichkeit der an und für sich guten Abbildungen beeinträchtigt.

Trotz seiner Kürze wird das Buch jedem Leser wertvolle Anregungen bieten. *G.*

J. Bonsdorff, Verhandlungen der in Stockholm v. 10. bis 14. August 1926 abgehaltenen zweiten Tagung der baltischen geodätischen Kommission. Helsinki 1927.

Auf der zweiten Tagung[1]) der baltischen geodätischen Kommission wurde der folgende, hier interessierende Beschluß gefaßt: Mit Rücksicht auf die Einheitlichkeit des Längenmaßes wird es für wünschenswert gehalten, daß möglichst alle dem Ostseering angehörenden Grundlinien mit demselben Basismeßapparat und von denselben Beobachtern — unbeschadet der Messung durch das eigene Land — noch einmal gemessen werden. Die Vorbereitungen zu diesem Unternehmen wurden einem aus den Herren Bonsdorff, Kohlschütter und Rosén bestehendem Sonderausschuß übertragen. *P. W.*

Annual report of the director United States coast and geodetic survey. Washington 1926.

In dem vorliegenden Jahresbericht des Direktors der *coast and geodetic survey* befinden sich an mehreren Stellen Bemerkungen über Instrumentenfragen, so daß auch hier wenigstens darauf hingewiesen werden soll.

Allgemein wird von den Instrumenten gesagt, daß man fortwährend bemüht ist, ihre Genauigkeit zu erhöhen und ihre Größe und ihr Gewicht zu verringern. In dem auf die Instrumentenabteilung sich beziehenden Teil des Berichts findet man u. a. Angaben über Theodolite zur Dreiecksmessung I. Ordnung, über Lampen für künstliche Sichtbarmachung der Zielpunkte und über Chronographen. *P. W.*

Loewe-Teilapparate und das Teilen. Herausgegeben von Ludw. Loewe & Co. A. G. in Berlin. 8⁰. 121 S. mit zahlr. Abb. u. Tafeln.

Das Buch behandelt das wichtige, dem Feinmechaniker besonders geläufige Gebiet des Teilens für maschinentechnische Zwecke in größter Vollständigkeit und Übersichtlichkeit. Von den hierher gehörenden Apparaten Loewescher Fertigung seien hier die dreifachen Universal-Teil- und Fräsapparate, die Rundsupporte mit Teileinrichtung sowie die Zahnstangen-Teil-, Aufspann- und Fräseinrichtungen besonders hervorgehoben. Ein zweiter Abschnitt enthält in klarer Darstellung Erklärungen über die notwendigen Berechnungen und Tabellen zur Erzielung bestimmter Teilungen. Die vorzügliche typographische Ausstattung sei noch besonders hervorgehoben. *G.*

Luftbildausstellung auf der ILA 1928 in Berlin.

Im Rahmen der Internationalen Luftfahrtausstellung, die in der Zeit vom 7. bis 28. Oktober in Berlin-Charlottenburg in den Ausstellungshallen am Bahnhof Witzleben stattfinden wird, wird das Luftbildwesen in einer geschlossenen Abteilung zusammengefaßt werden, die von der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie bearbeitet wird. In einer historischen Gruppe wird die Entwicklung des Luftbildwesens und der ihm dienenden Instrumente gezeigt werden. Über die heute gebräuchlichen Geräte für die Aufnahme und Auswertung wird ein Überblick gegeben werden durch die Ausstellung von Luftbildkammern (einfachem Luftbildgerät, Reihenbild-, Stereo-, Mehrfach- und Luftbildmeßkammern), Entzerrungsgeräten und den Auswerteinstrumenten für die Luftbildmessung. Luftbild- und Vermessungsflugzeuge werden in Abbildungen oder Modellen gezeigt werden. Auch die Hilfsinstrumente, die der Durchführung der Aufnahmetätigkeit dienen, das photographische Material und die Apparate für seine Verarbeitung werden die gebührende Berücksichtigung finden. Einen umfangreichen Raum werden die Arbeitsergebnisse einnehmen:

Schrägaufnahmen für Übersichten und Werbezwecke, Luftbildpläne und Karten, die durch Luftbildmessung gewonnen sind. Durch Modelle wird das Aufnahme- und Auswerteverfahren erläutert werden. Große Luftbildpläne (der Rhein von Konstanz bis Basel und aus dem Ruhrkohlenbezirk)

---

[1]) Über die erste Tagung vgl. *diese Zeitschr.* ***47.*** *S. 97. 1927.*

werden die besondere Eignung des Luftbildes für die rasche Aufnahme und dokumentarische Festlegung des jeweiligen Zustandes in umfangreichen Gebieten nachweisen. Die Verwertung des Luftbildes und sein Nutzen für die verschiedenen Wirtschaftsgebiete (Vermessungswesen, Land- und Forstwirtschaft, Hoch- und Tiefbauwesen, Unterricht) wird durch eine besondere Gruppe veranschaulicht werden. Hierin soll gezeigt werden, in welcher Weise die Auftraggeber das gefertigte Aufnahmematerial weiter verarbeiten für die Neuaufstellung, Ergänzung und Berichtigung von Kartenunterlagen, sowie für die Projektierung von Wirtschafts- und Bauarbeiten aller Art.

Die Luftbildausstellung wird von sämtlichen im Luftbildwesen tätigen Behörden, wissenschaftlichen Instituten sowie von allen Unternehmen der bauenden und ausführenden Industrie beschickt werden. Auch aus dem Auslande liegen zahlreiche Anmeldungen vor. Die Ausstellung wird dadurch einen umfassenden Überblick über die Entwicklung, den heutigen Stand, die wirtschaftliche Bedeutung und die Anwendungsmöglichkeiten für die verschiedenen Arbeitsgebiete, die für Planung und Durchführung der Veranschaulichung der Erdoberfläche bedürfen, geben.

Ausstellung „Elektrisches Messen". Neuzeitliche elektrische Meßgeräte und ihr Werdegang.

Das staatliche Technische Versuchsamt in Wien, Präsident Ing. Dr. Wilhelm Exner, veranstaltet in seinen Räumen eine Ausstellung unter obigem Titel. Die Vorbereitung obliegt einem Komitee aus Vertretern der Wissenschaft, der Industrie, des Gewerbes und des Handels Die Ausstellung wird in erster Linie österreichische Erzeugnisse aufnehmen, aber auch Firmen des Auslandes sollen eingeladen werden.

Die Ausstellung umfaßt das Gesamtgebiet der elektrischen Meßtechnik, insbesondere:

a) Physikalische Meßapparate aus dem Gebiete der Elektrizität einschließlich Schulapparate,
b) Elektrotechnische Instrumente,
c) Meßapparate der Radio-, Röntgen- und Lichttechnik,
d) Elektrische Meßmethoden und Schaltungen.

Die Ausstellung wird Anfang November 1928 eröffnet werden und dauert 2 Monate. Firmen, die sich beteiligen wollen erhalten nähere Auskunft durch das Technische Versuchsamt, Wien, IX., Michelbeuerngasse 6/8. Der Anmeldetermin schließt am 1. Oktober d. J.; Platzmiete wird nicht berechnet.

Nachschrift zu dem Aufsatz „Über die Gesetze zweiter Ordnung längs einem Meridianstrahl in Rotationssystemen *in dieser Zeitschr. 48. S. 384-386. 1928.*

Herr Dr. Boegehold macht mich darauf aufmerksam, daß in einer mir unbekannt gewesenen Arbeit von A. Gullstrand (*Skand. Arch. f. Physiol. 1890. S. 310)* sich bis auf einen kleinen Irrtum dort Formeln befinden, die denen meines Aufsatzes äquivalent sind. Die geometrische Deutung fehlt dort allerdings, und auch die Ableitung ist wesentlich verschieden.

Jena, im Juli 1928. *M. Herzberger.*

Zur Prüfung von Momentverschlüssen.

Herr Dr. F. Schindelhauer, Observator am Preuß. Meteorologischen Institut in Potsdam machte die Schriftleitung darauf aufmerksam, daß er die in *dieser Zeitschr. **48**. S. 356. 1928* berichtete von V. Ronchi angegebene Methode zur Bestimmung der Momentverschlüsse photographischer Apparate bereits 1914 unter dem Titel „Prüfung des Momentverschlusses der Potsdamer Wolkenautomaten" in den Veröffentlichungen des K. Preuß. Meteorologischen Instituts Nr. 272 S. 77—80 mitgeteilt hat. *G.*

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. F. Göpel in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **Oktober 1928.** Zehntes Heft.

Über Sinusbedingung, Kosinusrelation, Isoplanasie- und Homöoplanasiebedingung, ihren Zusammenhang mit energetischen Überlegungen und ihre Ableitung aus dem Fermatschen Gesetz.

Von
M. Herzberger in Jena, wissenschaftlichem Mitarbeiter von Carl Zeiss.

(Fortsetzung von S. 327.)

Teil II.

Die Anwendung der Untersuchungen auf achsensymmetrische Systeme.

In dem ersten Teil der obigen Arbeit sind die allgemeinen Abbildungsgesetze erörtert worden, und zwar im ersten Kapitel im Anschluß an die Straubelschen Sätze die Gesetze der Abbildung durch ein unendlich dünnes Bündel entlang einem Strahl; im zweiten Kapitel, das vom Kosinusgesetz beherrscht wird, werden die Gesetze der Abbildung durch eine einfach, bzw. zweifach unendliche Strahlenmannigfaltigkeit behandelt.

Der zweite Teil wird sich nun damit beschäftigen, die Anwendung der dort gefundenen Gesetze für rotationssymmetrische optische Systeme zu geben.

Im dritten Teil werden wir die Gesetze untersuchen, die die Abbildung endlicher Flächen betreffen.

Teil II zerfällt in zwei Kapitel, deren erstes die Abbildung der Achsenpunkte behandelt, während das zweite die Abbildung der außeraxialen Punkte untersucht.

Kapitel I.

Die Abbildung der Achsenpunkte.

Die in einem rotationssymmetrischen System von einem Achsenpunkt ausgehenden Strahlen lassen sich auf zweierlei Art zerlegen.

Diejenigen Strahlen, die in einer und derselben Ebene durch die Achse liegen, verlassen diese Ebene auch bei mehrfacher Brechung nicht.

Die Strahlen, die, von einem Achsenpunkt ausgehend, dingseitig auf einem Kegelmantel mit der System-Achse als Rotationsachse liegen, liegen auch nach mehrfacher Brechung wieder auf einem zur Systemachse rotationssymmetrischen Kegelmantel. Beide Tatsachen folgen direkt aus der Rotationssymmetrie und bedürfen keines weiteren Beweises. Im allgemeinen Fall zerfallen also die bildseitigen Strahlen in eine stetige Mannigfaltigkeit zur Achse symmetrischer Kegelmäntel, deren Spitze allerdings auf der Achse wandert.

Die Gesamtheit der Strahlen umhüllt zwei kaustische Flächen, deren eine hier in das von den Spitzen obiger Kegelmäntel gebildete Stück der Achse degeneriert.

Alles Geschehen ist zur Achse symmetrisch; es wird daher, im allgemeinen, genügen, die Vorgänge in einer Ebene zu betrachten. Davon werden wir an einzelnen späteren Stellen Gebrauch machen.

Eine besondere Ausnahme bildet der Fall, daß auch die bildseitigen Kegelmäntel dieselbe Spitze haben, d. h. daß alle Strahlen auch bildseitig durch einen Punkt gehen. In diesem Fall entarten die beiden kaustischen Flächen in unsern Bildpunkt; der Objektpunkt hat ein punktförmiges Bild, er wird exakt abgebildet.

§ 1. Der Achsenpunkt hat ein punktförmiges Bild.

Wir nehmen also an, daß alle vom Achsenpunkt P ausgehenden Strahlen sich bildseitig in einem Punkt vereinigen. Wir fragen nach der Abbildung der Nachbarpunkte.

Ohne weiteres können wir aus der Rotationssymmetrie folgende Schlußfolgerungen ziehen:

Wird ein benachbarter Punkt noch durch unser System exakt abgebildet, so werden von selbst alle Punkte exakt abgebildet, die mit ihm auf einem Kreise um die Achse liegen. Es sind hier drei Fälle zu betrachten:

a) Der zweite abgebildete Punkt liegt auch auf der Achse. (Hockinsche Forderung.)

b) Der zweite abgebildete Punkt liegt auf einem Flächenelement senkrecht zur Achse. Dann wird aus Symmetriegründen das ganze Flächenelement Punkt für Punkt exakt abgebildet.

c) Der zweite abgebildete Punkt liegt anderswo; dann werden aus Symmetriegründen alle mit ihm auf einem Kreis um die Achse gelegenen Linienelemente exakt abgebildet. Diese Linienelemente bilden einen Kegelmantel um die Achse; unter ihnen sind drei nicht in einer Ebene gelegene Richtungen, folglich werden nach Teil I dann die Punkte eines ganzen Raumelements durch unsere Strahlenmannigfaltigkeit exakt abgebildet.

a) Die Hockinsche Forderung.

Die Bedingung für die exakte Abbildung eines in der Achse gelegenen Linienstückchens ist gemäß Formel 36) Teil I, da auch der Bildpunkt aus Symmetriegründen in der Systemachse liegen muß (die Achse also objekt- wie bildseitig die beiden aufeinander abgebildeten Linienelemente berührt):

$$n' \alpha' \sin^2\left(\frac{u'}{2}\right) = n \sin^2\left(\frac{u}{2}\right). \qquad 1)$$

Hier ist u bzw. u' der Winkel, den ein beliebiger Strahl mit der Achse bildet; α' ist die lineare Vergrößerung (das Verhältnis der Längen der beiden abzubildenden Linienelemente). Herschel[1]) 1) hatte zuerst die Forderung nach Abbildung zweier Achsenpunkte gestellt; die obige Bedingung für die Abbildung unendlich benachbarter Achsenpunkte wurde wohl zuerst von Hockin 1) formuliert; sie besagt, daß der Quotient

$$\frac{n \sin^2\left(\dfrac{u}{2}\right)}{n' \sin^2\left(\dfrac{u'}{2}\right)} = \alpha'(u) \qquad 2)$$

[1]) Die Zahlen beziehen sich auf das Literaturverzeichnis am Schluß der Arbeit.

für alle u einen konstanten Wert hat. Für die Strahlen, die vom Ausgangspunkt unter einem Winkel u ausgehend, im Bildpunkt die Achse unter dem gleichen Winkel u' schneiden, ist immer der Quotient in 2) konstant. Die Strahlen eines solchen Kegelmantels bilden also immer (da, wie wir aus dem Teil I wissen, für den Kosinussatz — bis auf Größen höherer Ordnung — immer die Umkehrung gilt) unser Linienelement ab, und zwar mit einer Linearvergrößerung, die durch 2) gegeben wird. Wir können daher unsere Aussage etwas schärfer fassen.

Satz 1. Wird in einem achsensymmetrischen System ein Achsenpunkt exakt abgebildet, so entspricht einem in der Entfernung dl gelegenen Achsenpunkt bildseitig eine Kaustik derart, daß die sphärische Abweichung für den Nachbarpunkt den Betrag

$$(\alpha'_{\max} - \alpha'_{\min})\, dl \qquad 3)$$

besitzt, wo

$$\alpha'(u) = \frac{n \sin^2\left(\frac{u}{2}\right)}{n' \sin^2\left(\frac{u'}{2}\right)}$$

ist. Nur wenn $\alpha'(u)$ eine Konstante ist, d. h. Gleichung 1) erfüllt ist, kann die sphärische Abweichung für den Nachbarpunkt verschwinden, d. h. ist exakte Abbildung überhaupt möglich.

Um Mißverständnisse zu vermeiden, wollen wir hier noch einmal betonen, daß aus der Gültigkeit der Hockinschen Gleichung 2) noch nicht die exakte Abbildung auch nur eines endlich entfernten Nachbarpunktes folgt. Sei A die sphärische Abweichung, so ergibt sich aus unserer Betrachtung nur, daß im Fall der Gültigkeit von 2)

$$\frac{dA}{dl} = 0 \qquad 4)$$

ist (also $dA \ll dl$).

Ist die Hockinsche Bedingung allerdings nicht erfüllt, so zeigt 3), daß dann

$$dA = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min})\, dl \qquad 5)$$

dieselbe Größenordnung wie dl hat.

Wir nehmen jetzt an, die Hockinsche Gleichung sei erfüllt; wie kann man Objekt- und Bildstrahlen einander zuordnen?

Man zeichne um Objekt- und Bildpunkt zwei Kreise, deren Radien sich wie $n : n'\alpha'$ verhalten; dann sind die Strahlen einander zugeordnet, die in bezug auf diese Kreise gleiche Pfeilhöhen haben. Aus Abb. 1 ergibt sich

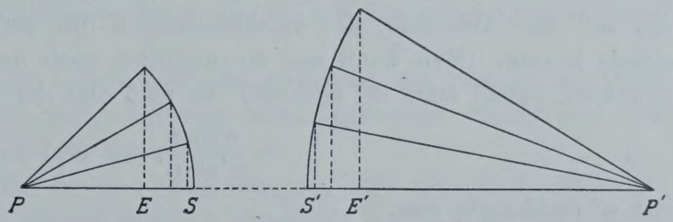


Abb. 1. Strahlengang bei erfüllter Hockinscher Forderung. Zusammengehörige Strahlen haben gleiche Pfeilhöhe.

$$ES = r\,(1 - \cos u) = r \sin^2\left(\frac{u}{2}\right)$$

analog

$$E'S' = r'\,(1 - \cos u') = r' \sin^2\left(\frac{u'}{2}\right) \qquad 6)$$

und wegen

$$r : r' = n : n' \alpha' \tag{7}$$

und 1) folgt, daß die Strahlen auseinander hervorgehen, für die

$$E S = E' S' \tag{8}$$

wird.

b) Die Abbesche Sinusbedingung.

Wir betrachten jetzt die Abbildung eines achsensenkrechten Flächenelements bei exakter Abbildung des zugeordneten Achsenpunktes.

Wenn eine Abbildung existiert, so müssen natürlich die zugehörigen Bildpunkte auch wieder bildseitig ein achsensenkrechtes Flächenelement bilden.

Betrachten wir unter der Annahme des Vorhandenseins exakter Abbildung einen Nachbarpunkt. Der zugehörige Bildpunkt muß in der Ebene durch Punkt und optische Achse (in der Meridianebene) liegen; das folgt u. a. daraus, daß die vom Nachbarpunkt ausgehenden und in dieser Ebene liegenden Strahlen die Meridianebene überhaupt nicht verlassen können. Durch Drehen einer solchen Figur um die Achse ergibt sich, daß die Vergrößerung aller Linienelemente gleich sein muß (die Lateralvergrößerung β'), d. h. daß unser Flächenelement unverzerrt abgebildet wird. Außerdem ergibt sich, daß aufeinander abgebildete Linienelemente im Objekt- und Bildraum parallel sein müssen (da achsensenkrecht und in derselben Meridianebene).

Sei $\mathfrak{i}$ der Einheitsvektor längs der Achse, $\mathfrak{j}$ und $\mathfrak{k}$ zwei beliebige aufeinander und auf der Richtung der Achse senkrechte Einheitsvektoren, dann ergibt Teil I, Formel 69

$$\begin{aligned} n' \beta' (\mathfrak{s}' \mathfrak{j}) &= n (\mathfrak{s} \mathfrak{j}) \\ n' \beta' (\mathfrak{s}' \mathfrak{k}) &= n (\mathfrak{s} \mathfrak{k}) \end{aligned} \tag{9}$$

Multipliziert man die erste Gleichung 9) mit $(\mathfrak{k})$, die zweite mit $\mathfrak{j}$, und subtrahiert dann folgt aus

$$(\mathfrak{j} \times \mathfrak{k}) = \mathfrak{i}, \tag{10}$$

$$n' \beta' (\mathfrak{s}' \times \mathfrak{i}) = n (\mathfrak{s} \times \mathfrak{i}), \tag{11}$$

d. h. zusammengehörige Strahlen liegen objekt- und bildseitig in einer Ebene und bilden mit der Achse Winkel u bzw. u' derart, daß

$$n' \beta' \sin u' = n \sin u \tag{12}$$

ist. Gl. 11) ist, vektoriell geschrieben, die notwendige und hinreichende Bedingung dafür, daß eine Abbildung des Flächenelements (bis auf Größen höherer Ordnung) zustande kommt. (Man kann aus ihr natürlich auch umgekehrt beide Gleichungen 9) gewinnen, indem man 10) einsetzt.) Es muß also der Quotient

$$\frac{n \sin u}{n' \sin u'} = \beta' (u) \tag{13}$$

von u unabhängig sein.

Wenn man für die Abbildung des Nachbarpunktes nur fordert, daß die in der Meridianebene gelegenen Strahlen sich wieder (bis auf Größen höherer Ordnung) in einem Punkt vereinigen, so kann man die Sinusbedingung, wie natürlich auch die Hockinsche Forderung auch durch Integration aus der Straubelschen Gleichung erhalten. Auch aus der Clausiusschen Gleichung 12) Teil I folgt unser Satz unter Zuhilfenahme der Symmetrie durch Integration. Siehe Czapski-Eppenstein (3) *S. 250/51.*

Betrachten wir jetzt wieder einen vom Objektpunkt unter dem für alle Strahlen konstanten Winkel u ausgehenden und im Bildpunkt unter dem Winkel u' mündenden Strahlenkegel, so ist für diese Strahlen der Ausdruck

$$\frac{n \sin u}{n' \sin u'} = \beta'(u) \tag{14}$$

sicher eine Konstante. Da wieder zusammengehörige Strahlen in derselben Meridianebene liegen, gilt für diese Strahlen allgemein Gleichung 11) und daraus wieder 9).

Wir haben also gefunden

Satz 2: Bei exakter Abbildung eines Achsenpunktes wird das ihn umgebende achsensenkrechte Flächenelement durch einen Strahlenkegel, der den Winkel u mit der Achse bildet, bis auf Größen höherer Ordnung abgebildet, und zwar mit einer Vergrößerung, die durch Gleichung 14) gegeben ist.

Man kann das wie folgt verifizieren: Man bringe (im übrigen beliebig) eine Blende an, die vom Objektpunkt nur die unter dem Winkel u ausgehenden Strahlenkegel durchläßt. Dann wird auf einer die Achse im Bildpunkt senkrecht schneidenden Fläche von einem im Objektpunkt achsensenkrecht angebrachten Flächenelement der Größe df ein Bild erscheinen, dessen Größe

$$df' = \beta'^2(u)\, df \tag{15}$$

ist. Und zwar wird die Größe des Bildflecks unabhängig von der Lage der (in endlichem Abstand vom Objektpunkt gedachten) Blende, d. h. unabhängig von der exakten Auswahl der vom Nachbarpunkt ausgehenden Strahlen sein.

Nur wenn

$$\beta'(u) = \text{Const} \tag{16}$$

d. h. die von allen Zonen erzeugten Bilder gleiche Größe haben, d. h. wenn die Sinusbedingung erfüllt ist, ist überhaupt eine exakte Abbildung eines Flächenelementes möglich.

Ist die Sinusbedingung nicht erfüllt[1]), so liegt die dem Nachbarpunkt entsprechende Zerstreuungsfigur innerhalb eines Kreisringes, dessen Radien durch $(\beta'_{\max} - \beta'_{\min})\, dl$ gegeben sind. Insbesondere schneiden auch schon die in der Meridianebene gelegenen Strahlen die Bildebene so, daß die Entfernung der Durchstoßpunkte von der Achse h

$$\beta'_{\min}\, dl < h < \beta'_{\max}\, dl \tag{17}$$

ist. Die radiale Abweichung von der punktförmigen Vereinigung hat also bei nicht erfüllter Sinusbedingung dieselbe Größenordnung wie dl, der Abstand des benachbarten Dingpunktes von der Achse.

Bei erfüllter Sinusbedingung verschwindet dieser Fehler, den man in der Optik als Komafehler bezeichnet. Die (möglicherweise) noch bleibenden Fehler sind von höherer Größenordnung, also jedenfalls klein gegen dl.

Wir können also sagen: Bei erfüllter Sinusbedingung wird ein achsensenkrechtes Flächenelement bis auf Größen höherer Ordnung abgebildet.

Daß die Sinusbedingung nicht exakte Abbildung auch nur eines Nachbarpunktes gewährleistet, kann man auch aus der Seidelschen Theorie ersehen, aus der einige bekannte Tatsachen später ohne Ableitung angeführt werden.

Es wird sich hier ergeben, daß z. B. die Bedingung für vorhandenen Astigmatismus von der Erfüllung der Sinusbedingung bei sphärisch korrigierten Systemen unabhängig

[1]) Siehe hierzu Abbe 2).

ist; aber auch hier zeigt sich, daß bei erfüllter Sinusbedingung alle übrigen Fehle[r] mindestens die Größe von dl^2 haben, siehe z. B. M. v. Rohr (1) *S. 322 und 323* fü[r] den Fall gehobener sphärischer Abweichung

$$\sum \left(\frac{h_\nu}{h_1}\right)^4 Q_{\nu s}^2 \Delta_\nu \left(\frac{1}{ns}\right) = 0 \tag{18}$$

und gehobener Koma die hier, wie wir später sehen werden, mit der Sinusbedingun[g] zusammenfällt.

$$\sum \left(\frac{h_\nu}{h_1}\right)^3 \left(\frac{y_\nu}{y_1}\right) Q_{\nu s} Q_{\nu x} \Delta_\nu \left(\frac{1}{ns}\right) = 0 \tag{19}$$

sind die tangentiale wie die sagittale Abweichung für einen Nachbarpunkt in der Ent[-]fernung l proportional l^2.

Wir wollen zum Schluß dieses Abschnitts noch einiges über die Zuordnung ent[-]sprechender Strahlen bei erfüllter Sinusbedingung aussagen.

Zuerst den von Trotzewitsch (1) bewiesenen Satz:

Satz 3: Bei erfüllter Sinusbedingung schneiden sich zugehörige Stahlen auf eine[r] Kugel.

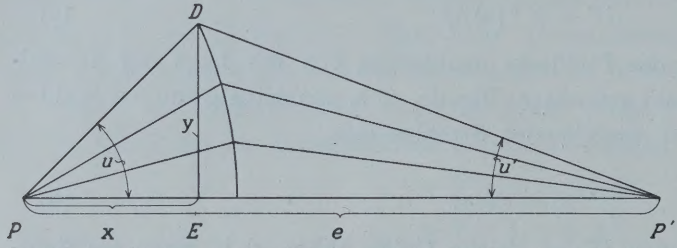


Abb. 2. Strahlengang bei erfüllter Sinusbedingung. Zusammengehörige Strahlen schneiden sich auf einem Kreise.

Man kann sich aus Sym[-]metriegründen auf die Strah[-]len einer Meridianebene be[-]schränken.

Seien P und P' Objek[t-] und Bildpunkt, D der geome[-]trische Ort der Schnittpunkt[e], $PE = x$, $DE = y$ die kartes[i-]schen Koordinaten desselben, $PP' = e$, dann ist

$$\sin^2 u = \frac{y^2}{x^2 + y^2},$$

$$\sin^2 u' = \frac{y^2}{(e - x)^2 + y^2}.$$

Da die Sinusbedingung erfüllt ist, ergibt sich

$$\frac{n^2 y^2}{x^2 + y^2} = \frac{n'^2 \beta'^2 y^2}{(e - x)^2 + y^2},$$

oder

$$n^2 (e - x)^2 + n^2 y^2 = n'^2 \beta'^2 (x^2 + y^2),$$

oder

$$\left(x - \frac{n^2 e}{n^2 - n'^2 \beta'^2}\right)^2 + y^2 = \left(\frac{n n' \beta'}{n^2 - n'^2 \beta'^2} e\right)^2, \tag{20}$$

d. h. der geometrische Ort der Schnittpunkte aller zugeordneten Strahlen ist bei g[e-]hobener sphärischer Abweichung und erfüllter Sinusbedingung ein Kreis, dessen Mitt[el-]punkt auf der optischen Achse in der Entfernung

$$x = \frac{n^2 e}{n^2 - n'^2 \beta'^2} \tag{21}$$

vom Ausgangspunkt liegt, und dessen Radius r den Wert

$$r = \frac{n\, n'\, \beta'\, e}{n^2 - n'^2\, \beta'^2} \tag{22}$$

hat.

Wichtiger, weil verallgemeinerungsfähiger, sind folgende Zuordnungen:

1. Man konstruiere um P bzw. P' als Mittelpunkt zwei Kugeln [s. Ignatowsky (1)], deren Radien sich wie $n : n'\beta'$ verhalten. Dann gehören diejenigen Strahlen zusammen, die in der gleichen Ebene liegend, die Kugeln in gleicher Höhe schneiden. Wir können also vorgehen, als ob der Strahlengang zwischen diesen beiden Kugeln achsenparallel wäre.

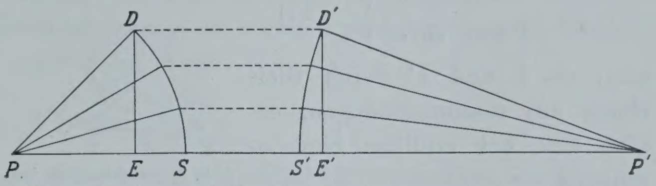


Abb. 3. Strahlengang bei erfüllter Sinusbedingung. Zusammengehörige Strahlen treffen din Kreise in gleicher Höhe.

Der Beweis folgt aus Abb. 3; hier ist $DE = r \sin u$, analog bildseitig $D'E' = r' \sin u'$. Wegen

$$r : r' = n : n'\beta' \tag{23}$$

und

$$n \sin u = n'\beta' \sin u'$$

muß also für zugeordnete Strahlen gelten

$$DE = D'E'. \tag{24}$$

Die so gewonnenen Punkte S und S', die Schnittpunkte der Kugeln mit der Achse, sind im allgemeinen Fall auch nicht einmal im Gaußschen Sinn konjugiert; nur wenn wir die objektseitige Kugel durch den objektseitigen Hauptpunkt legen, geht auch die entsprechende bildseitige Kugel durch den Hauptpunkt.

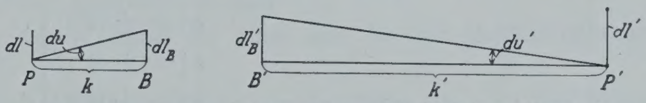


Abb. 4. Zusammenhang zwischen Linear- und Winkelvergrößerung im Objektpunkt PP', Linearvergrößerung in den Blenden BB' und Blendenabstand kk'.

Wir sehen also, an Stelle der bekannten Strahldurchzeichnung mit Hilfe der Hauptebenen tritt bei erfüllter Sinusbedingung und endlicher Apertur ein Hauptkugelpaar!

Der Beweis folgt wieder am einfachsten aus dem Helmholtz-Straubelschen Satz. Seien (Abb. 4) P, P' B, B' zwei Paare konjugierter Punkte, $\beta' = \frac{dl'}{dl}$, $\beta'_B = \frac{dl'_B}{dl_B}$ die zugehörige Lateralvergrößerung, k bzw. k' ihr Abstand. Dann gibt der Helmholtzsche Satz

$$n\, dl\, du = n'\, dl'\, du'. \tag{25}$$

Wir können nun schreiben

$$du = \frac{dl_B}{k}, \quad du' = \frac{dl'_B}{k'},$$

also

$$\frac{n}{k} = \frac{n'\,\beta'\,\beta'_B}{k'},$$

oder

$$k' : k = n'\,\beta'\,\beta'_B : n, \tag{26}$$

welche Formel nur für $\beta'_B = 1$, d. h. für die Hauptpunkte mit 23) übereinstimmt.

2. Eine zweite auch verallgemeinerungsfähige Zuordnung der Strahlen erhält man [siehe F. Staeble (2)], wie folgt:

Von zwei beliebigen, im Gaußschen Sinn konjugierten Punkten fälle man Lote auf zugeordnete Strahlen. [Staeble (1)]. Das Verhältnis der Länge dieser Lote ist konstant, und zwar gleich der Lateralvergrößerung in den zugeordneten Punkten. Es ist (Abb. 5)

$$\left.\begin{aligned} l &= k \sin u \\ l' &= k' \sin u' \end{aligned}\right\} \quad 27)$$

also, da k und k' durch Gleichung 26) zusammenhängen, ergibt sich bei erfüllter Sinusbedingung

$$l' : l = \beta'_B. \quad 28)$$

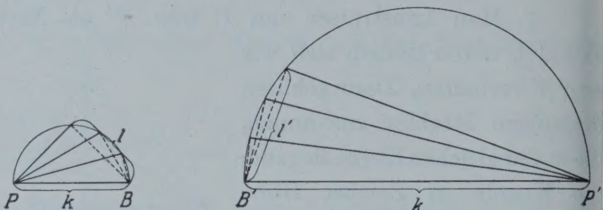


Abb. 5. Strahlengang bei erfüllter Sinusbedingung. Zusammengehörig Strahlen sind durch das konstante Verhältnis der von den Pupillen au sie gefällten Lote bestimmt.

c) Die Abbildung eines Raumelements.

Soll ein Raumelement, das einen Achsenpunkt enthält, durch ein rotationssym metrisches System abgebildet werden, so muß natürlich der achsenbenachbarte Punk sein Bild wieder auf der Achse haben; ebenso werden, wie wir in b) gezeigt haben die Punkte des achsensenkrechten Flächenelements so aufeinander abgebildet, daß auf einander abgebildete Linienelemente parallel sind. Die wie im vorigen Abschnitt ge wählten paarweise aufeinander senkrechten Einheitsvektoren $\mathfrak{i}$, $\mathfrak{j}$, $\mathfrak{k}$ werden also paralle zueinander, aber nicht notwendig gleichgerichtet abgebildet. Das (gleiche) Vorzeiche von $\mathfrak{j}'$ und $\mathfrak{k}'$ kann man als durch das Vorzeichen der Vergrößerung β' bestimmt an sehen. $\mathfrak{i}'$ kann jedoch auch gleich $-\mathfrak{i}$ sein.

Gleichung 76), Teil I, ergibt nun:

$$\left.\begin{aligned} \mathfrak{s}\,\mathfrak{i} &= \pm (\mathfrak{s}'\,\mathfrak{i}) \\ \mathfrak{s}\,\mathfrak{j} &= \pm (\mathfrak{s}'\,\mathfrak{j}) \\ \mathfrak{s}\,\mathfrak{k} &= \pm (\mathfrak{s}'\,\mathfrak{k}) \end{aligned}\right\} \quad 29)$$

d. h. eintretender und austretender Strahl sind parallel oder gehen durch Spiegelun an einer achsensenkrechten Ebene auseinander hervor.

Wir sehen, eine solche Abbildung ist nur in den Knotenpunkten möglich. I diesem Fall ist gemäß 76), Teil I, die nach allen Seiten konstante Vergrößerung

$$\beta' = \pm \frac{n}{n'}, \quad 30)$$

oder etwas anders ausgedrückt:

In Wellenlängen gemessen sind entsprechende Strecken gleich.

§ 2. Der Achsenpunkt wird nicht punktförmig abgebildet.

Wir behandeln in diesem Abschnitt nur die Abbildung eines achsensenkrechte Flächenelements durch ein achsensymmetrisches optisches System. Betrachten wir eine vom Achsenpunkt ausgehenden Strahl. Zwei Punkte können wir auf dem Bildstral als Träger eines Bildes ansehen. Den Berührungspunkt des Bildstrahles mit der Kaustil d. h. den Vereinigungspunkt benachbarter, in der Meridianebene gelegener Strahle und — natürlich in höherem Maße — den Schnittpunkt des Bildstrahles mit der Achse, d sich ja in diesem Punkt ein ganzer Strahlenkegelmantel vereinigt.

Beide Bilder könnte man praktisch in folgender Weise verifizieren. Um den Ol jektpunkt sei ein leuchtendes Flächenelement angebracht und eine Blende, die vo

Objektpunkt nur den betrachteten Strahl durchläßt. Dann wird auf einer beliebigen durch einen der beiden Bildpunkte gelegten Fläche ein Lichtfleck erscheinen, dessen Größe, unabhängig von der Lage der obiger Forderung genügenden Blende, durch die Clausiussche Gleichung 12), Teil I, bzw. wenn wir uns auf die Meridianebene beschränken, durch die Straubelsche Gleichung gegeben ist.

Dies nur im voraus. Wie wir in § 1, b) gesehen haben, zerfällt die bildseitige Strahlenmannigfaltigkeit in eine Anzahl von Kegelmänteln, deren Spitze auf der Achse wandert, und jeder dieser Kegelmäntel erzeugt in seiner Spitze von unserm Flächenelement ein Bild, dessen Größe gegeben ist durch

$$\beta'(u) = \frac{n \sin u}{n' \sin u'}. \qquad 31)$$

Wir können diese Tatsache auch wie folgt ausdrücken: Betrachten wir eine beliebige, diesen Kegelmantel ausblendende Ringblende, so werden alle durch diese Blende gehenden Strahlen von einem Nachbarpunkt in der Entfernung dl von der Achse sich bildseitig bis auf Größen höherer Ordnung in einem in der gleichen Meridianebene gelegenen Punkte treffen, dessen Entfernung dl vom Achsenpunkt gegeben ist durch

$$dl' = \beta'(u)\, dl. \qquad 32)$$

Tragen wir die so in jedem bildseitigen Achsenschnittpunkt gefundenen Bildgrößen dl' an, so erhalten wir eine Kurve, die bis auf Größen höherer Ordnung von allen Strahlen geschnitten wird, die vom Nachbarpunkt herrühren. Wir können uns also, bei Kenntnis der Größen 31) ein Bild von dem Aussehen der Nachbarkaustik machen, um so mehr, als noch folgender, in Herzberger (3, *S. 95/96*) bewiesener Satz gilt:

„Schneiden alle Strahlen eines Normalsystems eine feste Kurve, so zerfällt das System in eine Schar von Kegelmänteln, deren Spitzen auf der Kurve liegen und die zu der Kurventangente in diesem Punkt symmetrisch sind."

Der Tatsachenbestand des obigen Satzes ist aber hier bis auf Größen höherer Ordnung gegeben.

Wir sehen schon, es wird der Fall besonders ausgezeichnet sein, in dem obige Kurve in eine Gerade entartet. In diesem Fall hat auch das vom Nachbarpunkt ausgehende Strahlenbündel bildseitig wieder (bis auf Größen höherer Ordnung) eine Rotationsachse.

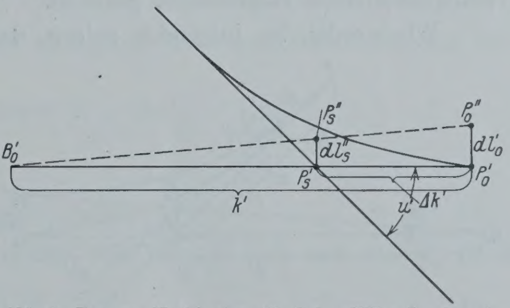


Abb. 6. Der zur Nachbarkaustik bei erfüllter Isoplanasiebedingung gehörende Hauptstrahl und die Größe der sagittalen Bilder dl_0' und dl_s''. $\Delta k'$ sphärische Aberration.

Dann wird jeder Punkt unseres Flächenelementes bildseitig durch eine rotations-symmetrische Kaustik abgebildet (natürlich wieder bis auf Größen höher Ordnung). Eine solche Abbildung wollen wir als gleichmäßig abweichend (isoplanatisch) bezeichnen.

Wir sehen, daß in diesem Fall sich $dl' = \beta'(u)\, dl$ zu der Größe des durch die paraxialen Strahlen erzeugten Bildes $\beta_0' dl$ verhalten muß, wie die Entfernung der beiden Punkte vom Schnitt B_0' der Rotationsachsen. Setzen wir $P_0' B_0'$, die Entfernung der kaustischen Spitze vom Schnittpunkt der Rotationsachsen gleich k', $P_0' P_s'$, die sphärische Abweichung des betrachteten Strahls gleich $\Delta k'$, so ergibt sich aus Abb. 6

$$\frac{k' + \Delta k'}{k'} = \frac{\beta'(u)}{\beta_0'} = \frac{n \sin u}{n' \beta_0' \sin u'}. \qquad 33)$$

Diese Forderung wurde als Bedingung für Komafreiheit im Jahre 1919 gleichzeitig auf verschiedenem Wege von F. Staeble (2) und E. Lihotzky (1) gefunden. Man erhält eine andere leicht einprägsame Form, wenn man

$$\beta'(u) = \beta'_0 + \Delta\beta' \tag{34}$$

setzt; dann gibt 33)

$$\frac{\Delta k'}{k'} = \frac{\Delta \beta'}{\beta'} . \tag{35}$$

Der Zuwachs der Vergrößerung muß proportional dem Zuwachs der sphärischen Abweichung sein. Daher rührt der von Staeble gebrauchte Name „Proportionalitätsbedingung".

Wir brauchen öfters die Form

$$n' \beta'_0 (k' + \Delta k') \sin u' = n k' \sin u . \tag{36}$$

Andere in der Literatur vorkommende Formen erscheinen dem Verfasser unbequem.

Wir sehen, die obige Bedingung geht für $\Delta k' = 0$ (gehobene sphärische Abweichung) in die Sinusbedingung über. Die Umkehrung ist natürlich genau so evident.

Ist die dem Nachbarpunkt entsprechende Kaustik rotationssymmetrisch, so gilt die Proportionalitätsbedingung. Das sieht man, wie folgt.

Wir fassen immer die Strahlenkegel bildseitig zusammen, deren Spitzen auf derselben achsensenkrechten Fläche liegen; durch diese von den Punkten des Objekts herkommenden Kegel wird das bildseitige Flächenelement abgebildet, und zwar ergibt sich für die Vergrößerungen ersichtlich die Proportionalität.

Staeble (2) und Lihotzky (1) haben bei ihren Ableitungen der obigen Bedingung nicht nur gefordert, daß die Nachbarkaustik rotationssymmetrisch ist, sondern sogar die Kongruenz zwischen axialer Kaustik und Nachbarkaustik gefordert. Wegen der allseitigen Symmetrie folgt hieraus, daß die Nachbarkaustik aus der axialen Kaustik durch Drehung um einen festen Punkt (den Schnittpunkt der Rotationsachsen) hervorgeht.

H. Boegehold (4) hat für diesen Spezialfall einen direkten Beweis aus einem verallgemeinerten Kosinussatz gegeben.

Wir werden im folgenden zeigen, daß aus der Annahme, daß die Nachbarkaustik rotationssymmetrisch ist, schon folgt, daß axiale und Nachbarkaustik kongruent sind und durch Drehung um einen festen Punkt der Achse auseinander hervorgehen. Der Beweis, der zu einer Konstruktion der Nachbarkaustik führt, wird gleichzeitig zeigen, daß bei Erfüllung der Isoplanasiebedingung auch die an den Berührungspunkten mit der Kaustik entstehenden Bilder die durch die Helmholtz-Straubelsche Gleichung verlangte Größe haben. Wir dürfen uns der Rotationssymmetrie wegen auf die Vorgänge in einer Meridianebene beschränken.

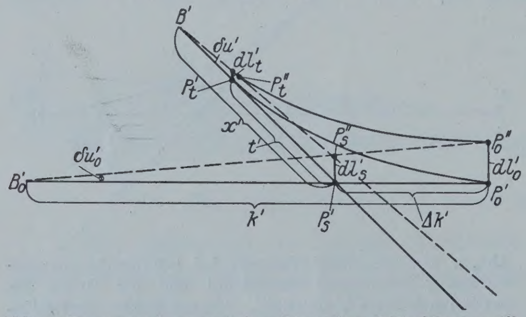


Abb. 7. Zusammenhang zwischen Kaustik und Nachbarkaustik bei erfüllter Isoplanasiebedingung. $\delta u'_0$ Winkel, um den sich der Hauptstrahl dreht, $\delta u'$ Drehungswinkel eines beliebigen Strahles.

Betrachten wir Abb. 7. Sei $B'_0 P'_0 P'_s$ die optische Achse, $B'_0 P''_0 P''_s$ die Achse des zum Nachbarpunkt gehörenden rotationssymmetrischen Bündels. P'_0 bzw. P''_0 seien die

kaustischen Spitzen, $P'_s P''_s$ sei parallel $P'_0 P''_0$ und senkrecht auf der optischen Achse. $B' P'_s P'_t$ sei der durch P'_s gehende Strahl unserer Kaustik, die er in P'_t berühre. Der durch P''_s gehende Strahl der Nachbarkaustik treffe ihn in B', sowie die Nachbarkaustik in P''.

$P'_0 P''_0$ ist das durch die Achsenstrahlen erzeugte Bild unseres Linienelements und hat die Größe

$$dl'_0 = \beta'_0 \, dl. \tag{37}$$

$P'_s P''_s$ hat die Größe $dl'_s = \beta' \, dl = \frac{n \sin u}{n' \sin u'} \, dl.$

Daraus folgt wieder wie oben die Isoplanasiebedingung.

Projizieren wir das Bild $P'_t P''_t$ auf die Richtung dieser beiden Bilder und nennen diese Projektion dl'_t, so gibt der Helmholtz-Straubelsche Satz

$$n' \cos u' \, du' \, dl'_t = n \cos u \, du \, dl. \tag{38}$$

Setzen wir

$$B' P'_s = x'; \quad P'_s P'_t = t'$$

wie vorher

$$B'_0 P'_0 = k', \quad B'_0 P'_s = (k' + \Delta k'),$$

dann ergibt Abb. 7

$$\frac{dl'_t}{dl} = \frac{dl'_t}{dl'_s} \cdot \frac{dl'_s}{dl'_0} \frac{dl'_0}{dl} = \frac{(x' + t')}{x'} \frac{(k' + \Delta k')}{k'} \beta_0 .$$

Dann wird aus Gl. 38)

$$\frac{(x' + t')}{x'} \frac{(k' + \Delta k')}{k'} \beta'_0 = \frac{n \cos u \, du}{n' \cos u' \, du'} . \tag{39}$$

Nun ist aber, wie Abb. 8 lehrt

$$t' \, du' = \sin u' \, d(\Delta k'). \tag{40}$$

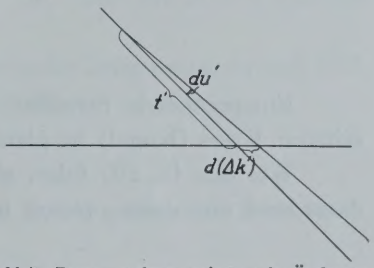


Abb. 8. Zusammenhang zwischen der Änderung der sphärischen Aberration $\Delta k'$ und der Änderung des Winkels u'.

Dann wird Gleichung 39)

$$d(n k' \sin u) = n' (k' + \Delta k') \beta'_0 \cos u' \, du' + \frac{n' \cos u' \, du'}{x'} \beta'_0 (k' + \Delta k') \sin u' \frac{d \Delta k'}{du'} .$$

Ziehen wir davon die Identität

$$d(n' \beta'_0 (k' + \Delta k') \sin u') = n' \beta'_0 (k' + \Delta k') \cos u' \, du' + n' \beta'_0 \sin u' \, d \Delta k'$$

ab, so folgt, da die rechte Seite wegen der Gültigkeit der Isoplanasiebedingung verschwindet,

$$0 = n' \beta'_0 \sin u' \, d \Delta k' \left(\frac{\cos u' (k' + \Delta k')}{x'} - 1 \right),$$

d. h. es gilt

$$x' = (k' + \Delta k') \cos u' . \tag{41}$$

Auch der Zusammenhang zwischen $\delta u'$ und $\delta u'_0$[1]) ergibt sich aus Abb. 7. Es ist

$$(k' + \Delta k') \delta u'_0 = \frac{x \, \delta u'}{\cos u'} , \tag{42}$$

also, wegen Gleichung 41),

$$\delta u' = \delta u'_0 . \tag{43}$$

Wir sehen also: Die Nachbarkaustik entsteht, bis auf Größen höherer Ordnung, aus der axialen Kaustik dadurch, daß jeder Strahl sich um den gleichen Winkel dreht.

---

[1]) Das Zeichen δ deutet an, daß die Änderung des betreffenden Wertes beim Übergang zur Nachbarkaustik untersucht wird.

Drehpunkt ist, wie Gl. 41) zeigt, der Fußpunkt des von B_0' auf die Strahlen gefällten Lotes. Umgekehrt: hat x' (den in Gl. 41) bezeichneten Wert, so wird die Isoplanasiebedingung aus Gl. 39) durch Integration erhalten.

Es mögen jetzt, wie bei der Sinusbedingung, einige Konstruktionen folgen, die die graphische Zuordnung der Objekt- und Bildstrahlen ermöglichen.

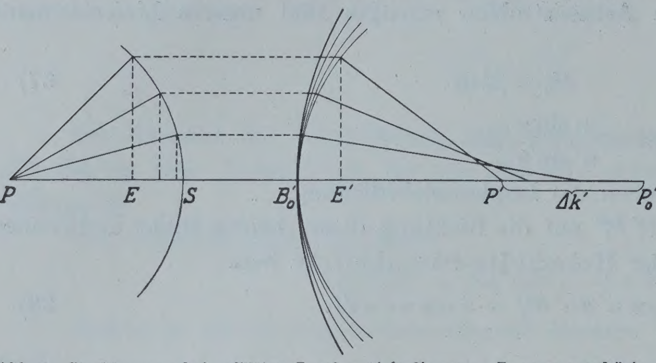


Abb. 9. Strahlengang bei erfüllter Isoplanasiebedingung. Zusammengehörige Strahlen schneiden die durch B_0' und S gehenden Kreise in gleicher Höhe.

1. Verallgemeinerung von Konstruktion 1 bei der Sinusbedingung.

Man zeichne durch B_0' die isoplanatische Blende, Kreise (Kugeln), deren Mittelpunkt die Schnittpunkte der Aperturstrahlen mit der Achse durchwandert. Ihnen entspreche dingseitig ein Kreis (Kugel) mit dem Radius

$$k_0 = \frac{n}{n'\,\beta_0'}\,k'. \tag{44}$$

Entsprechende Strahlen schneiden den bildseitigen und den zugehörigen objektseitigen Kreis (Kugel) in gleicher Höhe. Zum Beweis siehe Abb. 9.

Wie aus Gl. 26) folgt, sind die Schnittpunkte der Kreise (Kugeln) mit der Achse dann und nur dann optisch im Sinn der Gaußschen Abbildung konjugiert, wenn B_0' in den Hauptpunkt des Systems fällt.

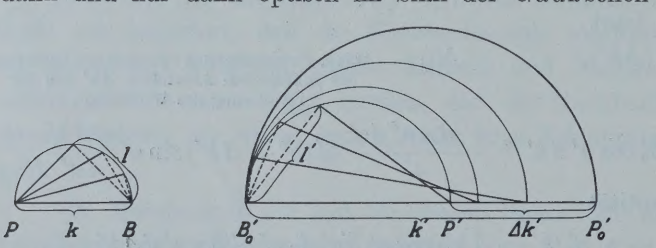


Abb. 10. Strahlengang bei erfüllter Isoplanasiebedingung. Zusammengehörige Strahlen sind durch das konstante Verhältnis der von den Pupillen auf sie gefällten Lote bestimmt.

2. Verallgemeinerung der Konstruktion 2 bei der Sinusbedingung (s. F. Staeble (2)).

Man fälle von B_0' und dem konjugierten Punkte B die Lote auf die Strahlen. Sie sind proportional und der Proportionalitätsfaktor ist gleich der Blendenvergrößerung β_B'.

Die Länge der Lote ist

$$l' = (k' + \Delta k')\sin u',$$
$$l = k \sin u.$$

Nun ist, wegen Gl. 26)

$$k = \frac{n}{n'\,\beta_0'\,\beta_B'}\,k', \tag{45}$$

also wegen 36)

$$\frac{l'}{l} = \frac{n'\,\beta_0'(k' + \Delta k')\sin u'}{n\,k'\sin u}\,\beta_B' = \beta_B'. \tag{46}$$

Obige Konstruktion wurde von Staeble (2) angegeben.

Zum Schluß dieses Abschnittes wollen wir betrachten, was unsere Untersuchung für das Seidelsche Gebiet bedeutet.

Sei hier A der Ausdruck im Seidelschen Gebiet für die Sinusbedingung, so schreibt sich bekanntlich der Komafehler

$$K = \frac{A}{\sigma_0 - \zeta_0} + B, \tag{47}$$

wenn σ_0 den reziproken Abstand des Objektpunktes, ζ_0 den reziproken Abstand des Blendenortes vom ersten Linsenscheitel angibt.

Komafreiheit ist also immer für eine bestimmte Blendenlage vorhanden, die gegeben ist durch

$$\zeta_0 = \sigma + \frac{B}{A}. \tag{48}$$

Nur wenn wir die Blende in ein Bild dieses Punktes (die „natürliche" Blende von Gleichen) setzen, ist im Seidelschen Gebiet Komafreiheit vorhanden. Diese Blendenlage muß, wie Staeble bewies, bei vorhandener isoplanatischer Korrektion dem Punkt B', dem Schnittpunkt der Rotationsachsen, konjugiert sein. Daher entspringt für ihn der Name isoplanatische Blende.

Ist $A = 0$, d. h. die sphärische Abweichung gehoben, so ist B für die Koma entscheidend, die dann unabhängig von der Blendenlage ist. Nur für $B = 0$ (erfüllte Sinusbedingung) ist auch dann die Koma behoben.

Diese Betrachtungen sind unabhängig von den Werten für Astigmatismus und Bildfeldkrümmung; sie geben also auch hier nicht Fehlerfreiheit.

Kapitel II.

Die Abbildung der Umgebung eines außerhalb der Achse gelegenen Punktes in Rotationssystemen.

Die von einem außerhalb der Achse gelegenen Punkt herrührenden Strahlen umhüllen bildseitig im allgemeinen keine rotationssymmetrische Strahlenmannigfaltigkeit; doch ist für diese Strahlen jedenfalls die Ebene durch Punkt und Achse eine Symmetrieebene. Wir haben hier drei Fälle zu unterscheiden:

1. der betrachtete Punkt hat bildseitig eine punktförmige Kaustik (er wird exakt abgebildet);
2. der betrachtete Punkt hat bildseitig eine rotationssymmetrische Kaustik (die Kaustik hat eine Symmetrieachse);
3. die Bildkaustik ist nur einfach symmetrisch (hat eine Symmetrieebene).

§ 1. Der außerhalb der Achse gelegene Punkt wird exakt abgebildet.

a) Abbildung des sagittalen Linienelements.

In diesem Fall liegen Objekt- und Bildpunkt auf einer und derselben, die Achse enthaltenden Ebene, die man die zum Ausgangspunkt gehörende Meridianebene nennt. (Die Richtung senkrecht zur Meridianebene bezeichnet man als sagittale Richtung.)

Obige Behauptung folgt aus der Tatsache, daß das Teilbüschel der von unserem Dingpunkt ausgehenden und die Systemachse schneidenden Strahlen die Meridianebene nie verläßt.

Aus Symmetriegründen folgt hier sofort, daß alle Punkte, die mit unserm Objektpunkt auf einem Kreis um die optische Achse liegen, auch exakt abgebildet werden, und zwar liegen die zugehörigen Bildpunkte wieder auf einem Kreis um die optische Achse.

Wir erkennen also insbesondere: bei punktförmiger Abbildung eines außeraxialen Punktes wird immer ein sagittales Linienelement punktförmig abgebildet, und zwar ist, wie man an Abb. 11 ersieht, die Vergrößerung gleich dem Verhältnis der Abstände von Ding- bzw. Bildpunkt von der Achse

$$\beta_s' = \frac{y'}{y}. \tag{49}$$

Aus den Überlegungen von Teil I, Kap. II folgt nun, daß für alle Strahlen eine Kosinusbedingung gilt, die wir schreiben können

$$n' \beta_s' \cos \varepsilon_s' - n \cos \varepsilon_s = C_s. \tag{50}$$

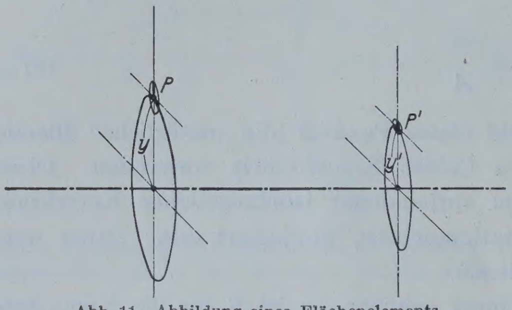


Abb. 11. Abbildung eines Flächenelements.

C_s ist aber in unserm Fall gleich Null, da aus Symmetriegründen der Lichtweg für die zugeordneten Punkte der in obiger Abbildung gezeichneten Kreise konstant ist. Wir haben also

$$n' \beta_s' \cos \varepsilon_s' = n \cos \varepsilon_s \tag{51}$$

mit

$$\beta_s' = \frac{y'}{y}.$$

Gl. 51), die auf anderem Wege von Kerber (2) abgeleitet wurde, kann man in folgender Weise deuten:

Die Gesamtheit aller Strahlen, die den Winkel ε_s mit der sagittalen Richtung bilden (also auf einem rotationssymmetrischen Kegelmantel mit der sagittalen Richtung liegen), bilden nach dem Durchgang durch unser System wieder einen rotationssymmetrischen Kegelmantel. Der (für alle Strahlen gleiche) Winkel ε_s' mit der sagittalen Richtung ergibt sich aus Gl. 51) und 49).

Insbesondere folgt hieraus für $\varepsilon_s = \varepsilon_s' = 90^0$: Die Strahlen in der Meridianebene liegen nach dem Durchgang durch das System wieder in der Meridianebene.

Oder anders ausgedrückt: Projiziere ich die Schnittpunkte aller vom Objekt- bzw. Bildpunkt ausgehenden Strahlen mit Kugeln, deren Radien sich wie $n : n' \beta_s'$ verhalten, auf die sagittale Richtung, so sind die entsprechenden Projektionen von gleicher Größe.

Das bedeutet, daß die Zuordnung von Objekt- und Bildstrahl durch eine Kosinusrelation nicht vollständig gegeben wird.

Wir können jetzt, genau wie in Kapitel I, fragen, unter welchen Bedingungen ein isoliertes Linienelement, ein isoliertes Flächenelement und ein Raumelement exakt abgebildet wird.

Ein isoliertes Linienelement kann nach den soeben angestellten Betrachtungen nur dann exakt abgebildet werden, wenn außer dem sagittal benachbarten Punkt kein weiterer Nachbarpunkt exakt abgebildet wird.

b) Die Abbildung eines Flächenelements.

Werden zwei außeraxiale Linienelemente aufeinander abgebildet, so müssen jedenfalls nach dem vorigen Abschnitt die in dem betreffenden Flächenelement enthaltenen sagittalen Linienelemente aufeinander abgebildet werden; außerdem müssen sich aber auch die Schnitte unserer Flächenelemente mit der Meridianebene Punkt für Punkt entsprechen (da sie durch die Meridianstrahlen nur aufeinander abgebildet werden können)

Bezeichnen wir mit ε_m bzw. ε_m' den Winkel, den ein beliebiger Strahl unseres Büschels mit den so gewonnenen Richtungen in der Meridianebene bildet, mit β_m' die diesen beiden Richtungen entsprechende Vergrößerung, so erhalten wir jetzt zwei Gleichungen in Kosinusform:

$$\left.\begin{aligned} n'\beta_s'\cos\varepsilon_s' &= n\cos\varepsilon_s\,,\\ n'\beta_m'\cos\varepsilon_m' - n\cos\varepsilon_m &= C_m\,,\\ \beta_s' &= \frac{y'}{y}\,. \end{aligned}\right\} \qquad 52)$$

Durch diese Gleichungen wird nun wirklich jedem Strahl des Objektraumes ein Strahl des Bildraums zugeordnet.

Wir können die Gl. 52) noch etwas umformen. Betrachten wir irgendeinen beliebigen in der Meridianebene gelegenen Strahl, seien seine Winkel mit den abgebildeten Linienelementen in der Meridianebene ε_{m0} bzw. bildseitig ε_{m0}', so ergibt Gl. 52)

$$\left.\begin{aligned} \beta_s' &= \frac{n\cos\varepsilon_s}{n'\cos\varepsilon_s'}\,,\\ \beta_m' &= \frac{n(\cos\varepsilon_m - \cos\varepsilon_{m0})}{n'(\cos\varepsilon_m' - \cos\varepsilon_{m0}')}\,, \end{aligned}\right\} \qquad 53)$$

d. h. die Ausdrücke auf der linken Seite sind für alle Strahlen Konstante. Wir haben hier den in Teil I, Kap. II, 2 behandelten Fall der verzerrten Abbildung vor uns, und zwar unter der einschränkenden Voraussetzung $C_2 = 0$.

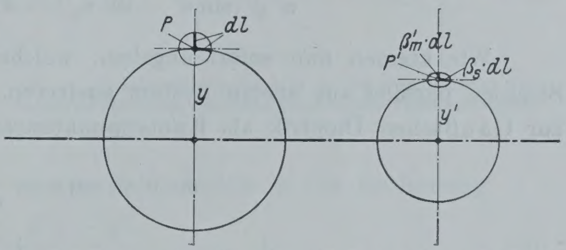


Abb. 12. Wie Abb. 11, Objekt- und Bildebene sind um 90° in die Achsenebene gedreht.

Die Abbildung unseres Flächenelements erfolgt natürlich so, daß eine Richtung, die mit der meridionalen Richtung den Winkel φ bildet, im Bildraum mit der meridionalen Richtung einen Winkel φ' bildet, der gegeben ist (Teil I, Gl. 48) durch

$$\operatorname{tg}\varphi' = \frac{\beta_s'}{\beta_m'}\operatorname{tg}\varphi\,. \qquad 54)$$

Die zugehörige Vergrößerung ergibt sich zu [I, Gl. 47)]

$$\beta'^2 = \beta_m'^2\cos^2\varphi + \beta_s'^2\sin^2\varphi\,, \qquad 55)$$

und die Konstante C zu [I, Gl. 57)]

$$C = C_m\cos\varphi\,. \qquad 56)$$

β_m' bzw. β_s' geben also die maximale und die minimale Linearvergrößerung an.

Die Zuordnung der Strahlen erhält man geometrisch gemäß Gl. 52) in folgender Weise:

Man projiziere den Durchstoßpunkt des Strahls mit der Einheitskugel ding- wie bildseitig auf die sagittale bzw. auf die meridional abgebildete Richtung. Seien p_s bzw. p_m die Länge dieser Projektionen, so sind die Strahlen zugeordnet, für die gilt:

$$\left.\begin{aligned} n'\beta_s'p_s' &= np_s\,,\\ n'\beta_m'p_m' &= np_m + C_m\,. \end{aligned}\right\} \qquad 57)$$

Ein besonderes Interesse bietet der Fall der unverzerrten Abbildung. Hier ist gemäß Gl. 49) und 55)

$$\beta_s' = \beta_m' = \beta' = \frac{y'}{y} \qquad 58)$$

für alle Linienelemente konstant; außerdem gilt aus Gl. 54)

$$\varphi' = \varphi . \qquad 59)$$

Es bleibt allerdings

$$C_\varphi = C \cos \varphi . \qquad 60)$$

Wir wollen, ihrer praktischen Bedeutung wegen, jetzt den Fall der Abbildung eines achsensenkrechten Flächenelementes auf ein achsensenkrechtes Flächenelement noch etwas ausführlicher behandeln und sehen, in welcher Form wir die dort gefundenen Ergebnisse verallgemeinern können.

Man kann jetzt an Stelle der Winkel, die die Strahlen mit den abzubildenden Linienelementen in der Meridianebene bilden, auch, wie in der Literatur öfter üblich, die dazu komplementären Winkel gegen die Achse einführen und erhält

$$\left.\begin{aligned} n'\beta'(\sin u' - \sin u_0') &= n(\sin u - \sin u_0) \\ \text{oder} \qquad n'\beta' \sin u' - n \sin u &= C_m . \end{aligned}\right\} \qquad 61)$$

Insbesondere ist bei unverzerrter Abbildung

$$\beta' = \frac{y'}{y},$$

also

$$n' y' (\sin u' - \sin u_0') = n y (\sin u - \sin u_0). \qquad 62)$$

Wir können nun sofort angeben, welche von unserm Objektpunkt ausgehenden Strahlen parallel aus unserm System austreten. Wir wollen diese Strahlen in Analogie zur Gaußschen Dioptrik als Knotenpunktsstrahlen bezeichnen. Für sie ist

$$\sin u' = \sin u = \frac{C_m}{n'\beta' - n}. \qquad 63)$$

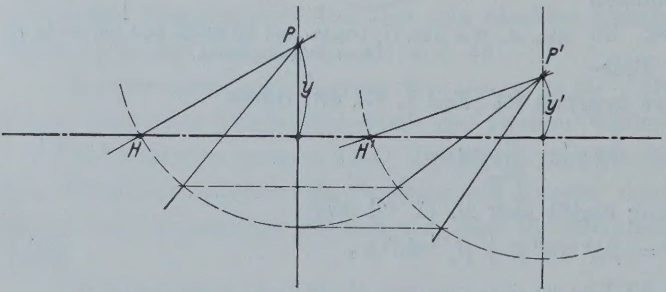


Abb. 13. Zuordnung der Strahlen in der Meridianebene bei verzerrungsfreier Abbildung zweier achsensenkrechter Flächenelemente.

Sie treffen die Achse in der Entfernung r_k bzw. r_k' vom Objekt- bzw. Bildpunkt derart, daß

$$\left.\begin{aligned} r_k &= \frac{n'\beta' - n}{C_m} y, \\ r_k' &= \frac{n'\beta' - n}{C_m} y'. \end{aligned}\right\} \qquad 64)$$

Betrachten wir den Strahl, der gegeben ist durch

$$n \sin u = n' \sin u' = \frac{C_m}{\beta' - 1}, \qquad 65)$$

den wir als Hauptpunktsstrahl bezeichnen wollen. Er schneidet die Achse in der Entfernung

$$\left.\begin{aligned} r_h &= \frac{\beta' - 1}{C_m} n y, \\ r_h' &= \frac{\beta' - 1}{C_m} n' y'. \end{aligned}\right\} \qquad 66)$$

Die Radien dieser Kreise verhalten sich wie $n'\beta' : n$. Man kann daher statt Gl. 62) schreiben

$$r_h' (\sin u' - \sin u_4') = r_h (\sin u - \sin u_4). \qquad 67)$$

Die geometrische Bedeutung von Gl. 67) ist folgende:

Schlägt man bei unverzerrter Abbildung zweier achsensenkrechter Flächenelemente aufeinander um Objekt und Bildpunkt Kreise, deren Radien durch Gl. 66) gegeben werden, dann liegen die Schnittpunkte von entsprechenden Strahlen mit diesen Kreisen auf einer achsenparallelen Geraden.

Diese Kreise (sie gehen für die Gaußsche Theorie in die Schnitte der Hauptebene mit der Meridianebene über) bezeichnen wir als Hauptkreise, die Durchstoßpunkte mit den Hauptpunktsstrahlen (die auf der Achse liegen) als die sogenannten schiefen Hauptpunkte. Die Durchstoßpunkte der Knotenpunktsstrahlen mit der Achse bezeichnen wir als Knotenpunkte.

Die Hauptpunkte sind selbstverständlich auf den Hauptpunktsstrahlen (sagittal) konjugiert.

Hauptpunkts- und Knotenpunktsstrahlen fallen nur dann zusammen, wenn

$$n = n' \qquad 68)$$

ist.

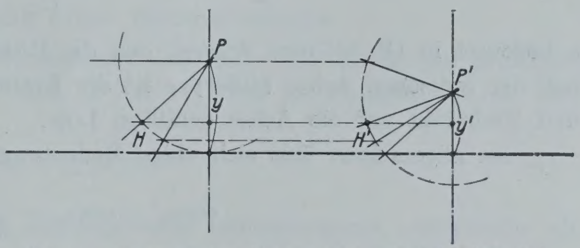


Abb. 14. Zuordnung der Strahlen in der Meridianebene bei verzerrter Abbildung eines achsensenkrechten Flächenelements.

Für den Fall, daß die achsensenkrechten Flächenelemente nicht unverzerrt abgebildet werden, läßt sich obige Konstruktion zusammengehöriger Strahlen leicht umformen. Betrachten wir eine Parallele zur Achse im Abstande h derart, daß das Verhältnis der Entfernungen von Objekt- und Bildpunkt bis zur Achse sich wie $1:\beta'$ verhalten. Dann vertritt die Parallele in der Entfernung

$$h = \frac{\beta' y - y'}{\beta' - 1} \qquad 69)$$

die Stelle der Achse.

Wir nennen wieder die parallelen Strahlen, die durch

$$\sin u_k' = \sin u_k = \frac{C_m}{n'\beta' - n}$$

gegeben sind, die Knotenpunktsstrahlen, die durch

$$n' \sin u_h' = n \sin u_h = \frac{C_m}{\beta' - 1}$$

gegebenen Strahlen die Hauptpunktsstrahlen.

Dann sind die, diesmal seitlich der Achse gelegenen Durchstoßpunkte der Hauptstrahlen mit der im Abstand h gezogenen achsenparallelen Geraden die seitlichen Hauptpunkte, während die durch sie um Objekt- und Bildpunkt gezeichneten Kreise (die Hauptkreise) mit den Radien

$$\left.\begin{aligned} r_h &= \frac{n(y' - y)}{C_m}, \\ r_h' &= \frac{n'\beta'(y' - y)}{C_m} \end{aligned}\right\} \qquad 70)$$

wieder die Eigenschaft haben, daß ihre Schnittpunkte mit korrespondierenden Strahlen wieder auf einer achsenparallelen Geraden liegen.

Die seitlichen Hauptpunkte liegen bei verzerrter Abbildung außerhalb der Achse.

Sind die abzubildenden meridionalen Linienelemente parallel, aber nicht achsensenkrecht, so kann man obigen Gedankengang auch übertragen. Die „Hauptpunkte" liegen dann nicht auf einer Parallele zur Achse, sondern auf einer gemeinsamen Senkrechten zur Richtung der parallelen Linienelemente. Ebenso liegen entsprechende Durchstoßpunkte der Strahlen mit den Hauptkreisen auf einer Parallelen zu obigem Lote.

Die Hauptstrahlen sind auch hier gegeben durch

$$n' \cos \varepsilon_h' = n \cos \varepsilon_h = \frac{C_m}{\beta' - 1}, \qquad 71)$$

wo ε_h wieder den Winkel mit den Linienelementen bedeutet, und als Radien der Hauptkreise bekommt man

$$\left.\begin{aligned} r_h &= \frac{n\,((y'-y)\cos\alpha + e\sin\alpha)}{C_m}, \\ r_h' &= \frac{n'\,\beta'\,((y'-y)\cos\alpha + e\sin\alpha)}{C_m}. \end{aligned}\right\} \qquad 72)$$

α bedeutet in Gl. 72) den Winkel, den die Richtung der abgebildeten Linienelemente mit der optischen Achse bildet; e ist die Entfernung der Fußpunkte der von Objekt und Bildpunkt auf die Achse gefällten Lote.

Im allgemeinen läßt sich obige Bedeutung der durch

$$\cos \varepsilon_k' = \cos \varepsilon_k = \frac{C_m}{n'\beta' - n} \qquad 73)$$

gegebenen Knotenpunktsstrahlen und der durch

$$n' \cos \varepsilon_h' = n \cos \varepsilon_h = \frac{C_m}{\beta' - 1} \qquad 74)$$

gegebenen Hauptpunktsstrahlen nicht mehr ungekünstelt aufrecht erhalten. Doch sind die durch Gl. 73) und 74) gegebenen Strahlen immer einander zugeordnet.

Es lassen sich hier interessante Untersuchungen anknüpfen über die größte Apertur der durch das System durchgehenden Strahlenbüschel, über die Größe der Konstante C_m insbesondere für die Vergrößerung

$$\beta' = \frac{n}{n'} \quad \text{und} \quad \beta' = 1, \qquad 75)$$

doch sei dies einer Spezialuntersuchung vorbehalten.

Wir können im Fall der unverzerrten Abbildung in unsere Betrachtung überall an Stelle der Hauptkreise Hauptkugeln einführen, eine Tatsache, die aus Gl. 57) leicht erhellt.

Falls Gl. 52) nicht für alle vom Objektpunkt ausgehenden Strahlen gilt, so wird durch eine Blende, die entlang einem beliebigen Strahl angebracht ist, auf einer beliebigen, durch den Bildpunkt gelegten Fläche von einem kleinen kreisförmigen Objekt ein elliptisches Bild erzeugt, dessen sagittale Ausdehnung durch

$$\beta_s'(\varepsilon) = \frac{n \cos \varepsilon_s}{n' \cos \varepsilon_s'}, \qquad 76)$$

dessen meridionale Ausdehnung durch

$$\beta_m'(\varepsilon) = \frac{n\,(\cos \varepsilon_m - \cos \varepsilon_{m0})}{n'\,(\cos \varepsilon_m' - \cos \varepsilon_{m0}')} \qquad 77)$$

gegeben ist. Die Gesamtheit der längs aller Strahlen erzeugten Bilder hat die gleiche sagittale Ausdehnung, jedoch eine verschiedene meridionale Ausdehnung, so daß die

Strahlen wieder unser Linienelement in einer Zerstreuungsfigur schneiden, deren meridionale Ausdehnung durch

$$(\beta'_{m\,\max} - \beta'_{m\,\min})\, dl = dA \tag{78}$$

gegeben ist. Hieraus haben wir wieder eine Andeutung über die eintretende Verschlechterung der Abbildung von Nachbarpunkten bei nicht erfüllter Kosinusbedingung.

Man kann obige Behauptung in folgender Weise sich plausibel machen. Die Gesamtheit der vom Objektpunkt ausgehenden Strahlen ist zweifach unendlich, die Gesamtheit der möglichen Werte der formal gebildeten Funktion $\beta'_m(\varepsilon)$ nur einfach unendlich. Folglich muß es zu jedem erreichten Wert von $\beta'_m(\varepsilon)$ mindestens einfach unendlich viel Strahlen geben, für die $\beta'_m(\varepsilon)$ konstant ist. Diese Strahlen müssen aus Stetigkeitsgründen ein oder mehrere zusammenhängende Strahlenbündel bilden, d. h. für sie gilt der Kosinussatz, oder die Größe der durch sie erzeugten Bilder wird durch Gl. 77) gegeben.

c) Die Abbildung eines Raumelements.

Auch die Abbildung eines Raumelements außerhalb der Achse ist prinzipiell möglich. Natürlich wegen I [Gl. 76)] und II [Gl. 49)] nur in Punkten, deren Entfernung von der Achse sich wie

$$y' : y = \pm (n' : n) \tag{79}$$

verhält.

In diesem Fall werden natürlich die sagittalen Linienelemente aufeinander abgebildet, während die Richtungen der in der Meridianebene gelegenen konjugierten Linienelemente miteinander einen festen aber beliebigen Winkel bilden.

Die für alle Richtungen konstante Vergrößerung ergibt sich als

$$\beta' = \frac{y'}{y} = \pm \frac{n'}{n}. \tag{80}$$

§ 2. Dem außeraxialen Punkt entspricht eine rotationssymmetrische Kaustik.

Die Resultate dieses Teils, der durchweg noch nicht Bekanntes bringt, sind in gemeinsamer Arbeit von Dr. Lihotzky und Verfasser gefunden worden (siehe die Note zu Beginn der Arbeit).

In diesem Fall zerfällt die bildseitige Kaustik in eine Anzahl rotationssymmetrischer Strahlenbüschel mit gemeinsamer Rotationsachse. Die Rotationsachse bezeichnen wir als den Hauptstrahl unseres Büschels. Er geht durch die bildseitige kaustische Spitze, ist daher auch der einzige Strahl, auf dem kein Astigmatismus vorhanden ist.

Die Gesamtheit der Strahlen, die sich bildseitig in einem Punkt des Hauptstrahles treffen (die also einen solchen Kegelmantel bilden), bildet auch objektseitig eine einfach unendliche zusammenhängende Strahlenmannigfaltigkeit, die allerdings im allgemeinen ganz und gar nicht rotationssymmetrisch ist.

a) Die gleichmäßige Abbildung eines sagittalen Linienelements.

Einem Punkt, der objektseitig mit unserm Ausgangspunkt auf einem Kreis um die Achse liegt, entspricht selbstverständlich bildseitig auch eine rotationssymmetrische, ja sogar eine kongruente Kaustik. Wenn wir jetzt nach der Abbildung eines sagittalen Linienelements fragen, so ergibt sich wieder von selbst, daß durch jeden der bildseitig rotationssymmetrischen Strahlenkegel unser Linienelement abgebildet wird, und zwar liegt das Bild auf dem Kreise um die Achse, der durch den Vereinigungspunkt unserer

Strahlenkegel geht. Die zugehörige Vergrößerung ergibt sich dann als gleich dem Verhältnis der Entfernungen vom Objektpunkt bzw. Vereinigungspunkt unseres Strahlenkegels von der Achse.

Betrachten wir nun Abb. 15. Der Hauptstrahl der vom Objektpunkt ausgehenden Strahlen schneide die optische Achse in B'_{0s}, welchen Punkt wir als sagittalen Pupillenpunkt bezeichnen, den soeben betrachteten Strahlenkegelmantel in P_s'. Die kaustische Spitze sei P_0'.

Die zum sagittalen Nachbarpunkt gehörende Kaustik entsteht aus unserer Kaustik durch Rotation um die optische Achse um einen kleinen Winkel $d\alpha$. Diese Kaustik ist daher auch rotationssymmetrisch, ihr Hauptstrahl schneidet die Achse wieder in B'_{0s}. Die kaustische Spitze liegt in P_0''.

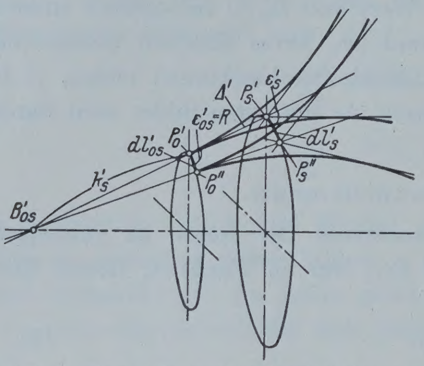


Abb. 15. Dem Objektpunkt entspricht eine rotationssymmetrische Kaustik. Abbildung eines sagittalen Linienelements.

Der Punkt P_s'', der P_s' entspricht, liegt mit P_s' auf einem Kreise um die Achse.

Es sei nun k_s' die Entfernung zwischen kaustischer Spitze P_0' und sagittalem Pupillenpunkt B'_{0s}, Δ' die zu dem betrachteten Strahl gehörende sphärische Abweichung $P_0' P_s'$, dl'_{0s} die Größe des durch den Hauptstrahl erzeugten Bildes $P_0' P_0''$ (dieses Bild ist durch die in bekannter Weise, wie auf der Achse durchgerechnete meridionale Vergrößerung längs des Hauptstrahles gegeben), dl_s' die Größe des von dem betrachteten Kegelmantel erzeugten Bildes, $P_s' P_s''$, ε_s bzw. ε_s' der Winkel eines beliebigen Strahles vor bzw. nach der Brechung gegen die sagittale Richtung, dann ergibt sich aus Abb. 15

$$\frac{dl_s'}{dl'_{0s}} = \frac{k_s' + \Delta'}{k_s'}. \tag{81}$$

Setzen wir nun

$$dl'_{0s} = \beta'_{0s}\, dl_s \tag{82}$$

und beachten, daß für die in P_s' mündende Strahlenmannigfaltigkeit, da sie ein sagittales Linienelement exakt abbildet, also der Kosinussatz gilt (Teil I, Gl. 38))

$$\frac{dl_s'}{dl_s} = \frac{n \cos \varepsilon_s}{n' \cos \varepsilon_s'}, \tag{83}$$

so folgt für alle Strahlen unseres Systems, daß von selbst folgende Bedingung erfüllt ist:

$$n' \beta'_{0s} (k_s' + \Delta') \cos \varepsilon_s' = n\, k_s' \cos \varepsilon_s, \tag{84}$$

eine Bedingung, die als Verallgemeinerung der auf der Achse geltenden Isoplanasiebedingung anzusehen ist.

Eine etwas allgemeinere Forderung, die diese enthält, wurde von Dr. Lihotzky und Verfasser als Homöoplanasiebedingung (Bedingung für gleichmäßige Aberration) bezeichnet. Sie ist also bei der Abbildung eines sagittalen Linienelements stets erfüllt, wenn die einem Punkte entsprechende Objektkaustik rotationssymmetrisch ist. Ist die Objektkaustik punktförmig, dann geht natürlich die Bedingung Gl. 84) in die Kosinusbedingung Gl. 51) (Kerbersche Bedingung) über.

Gl. 84) kann natürlich auch die Formen annehmen

$$\frac{k_s'+\Delta'}{k_s'}=\frac{\beta_s'(\varepsilon)}{\beta_{0s}}=\frac{n\cos\varepsilon_s}{n'\,\beta_{0s}'\cos\varepsilon_s'} \qquad 84\,a)$$

ınd

$$\frac{\Delta k_s'}{k_s'}=\frac{\Delta\beta_s'}{\beta_{0s}'}\,. \qquad 84\,b)$$

b) Die gleichmäßige Abbildung eines Flächenelements.

Weit weniger einfach verhält es sich mit der gleichmäßigen Abbildung eines 'lächenelements oder, was wegen der immer erfüllten gleichmäßigen Abbildung eines agittalen Linienelements hiermit identisch ist, mit der Abbildung eines meridionalen inienelements.

Die Strahlen eines der soeben betrachteten Kegelmäntel bilden im allgemeinen lurchaus nicht ein in der Meridianebene gelegenes Linienelement exakt ab, wie das ei der Abbildung eines sagittalen Linienelements der Fall ist und wie es auf der chse auch bei vorhandener sphärischer Abweichung für jeden Strahlenkegelmantel er Fall ist.

Würde durch unsern Strahlenkegel von einem in der Meridianebene gelegenen inienelement ein Bild in der Meridianebene entworfen, so müßte nach I Gl. 30)

$$\frac{n(\cos\varepsilon_m-\cos\varepsilon_{m0})}{n'(\cos\varepsilon_m'-\cos\varepsilon_{m0}')}=\beta'(\varepsilon) \qquad 85)$$

ür alle in P' mündenden Strahlen konstant sein. Hierbei bedeuten ε_m, ε_m' die (variablen) Vinkel der in P' mündenden Strahlen gegen die aufeinander abgebildeten Linienlemente in der Meridianebene, ε_{m0} bzw. ε_{m0}' die Vinkel, die der Hauptstrahl mit diesen Linienlementen bildet. Obige Bedingung, bei deren rfüllung $\beta'(\varepsilon)$ natürlich noch von Strahlenkegel u Strahlenkegel variieren kann, ist aber im allemeinen keineswegs erfüllt.

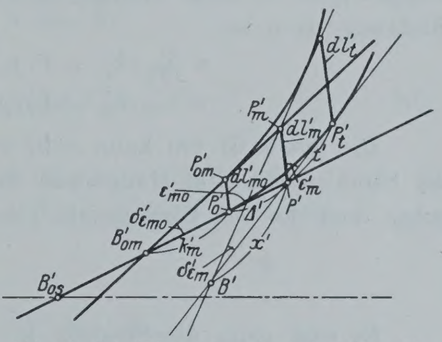


Abb. 16. Ein Flächenelement wird gleichmäßig abgebildet.

Wir gehen jetzt umgekehrt vor; wir nehmen n, ein meridionales Linienelement werde gleichıäßig abgebildet, d. h. wir setzen voraus, jedem 'unkt unseres Linienelements entspreche bildeitig eine rotationssymmetrische Kaustik; dann egt der der Nachbarkaustik entsprechende Iauptstrahl aus Symmetriegründen wieder in der Meridianebene (er wird von allen ı der Meridianebene gelegenen und vom Nachbarpunkt ausgehenden Strahlen getroffen).

Die beiden Hauptstrahlen mögen sich in B_{0m}' treffen; sei P_0' bzw. P_{0m}' die kauische Spitze der Ausgangs- bzw. Nachbarkaustik, dann ist

$$P_0'P_{0m}'=dl_{m0}'=\beta_{0m}'\,dl_m\,. \qquad 86)$$

Fassen wir die Strahlen von Ausgangspunkt und Nachbarpunkt so zusammen, aß wir immer die Strahlen betrachten, die auf Kegelmänteln liegen, deren Spitzen n Linienelement parallel zu $P_0'P_{0m}'$ bilden, also z. B. die Strahlen durch P' und P_m', ann können wir sagen: durch die hier betrachtete Strahlenmannigfaltigkeit wird unser eridionales Linienelement exakt auf $P'P_m'$ abgebildet. Setzen wir

$$P'P_m'=dl_m'=\beta_m'\,dl_m\,, \qquad 87)$$

so ergibt der hier gültige Kosinussatz I Gl. 30), daß für alle Strahlen des durch P' gehenden Strahlenkegels gelten muß:

$$\beta'_m = \frac{n(\cos\varepsilon_m - \cos\varepsilon_{m0})}{n'(\cos\varepsilon'_m - \cos\varepsilon'_{m0})}. \qquad 88)$$

Nun ergibt sich aus Abb. 16 sofort wieder

$$\frac{\beta'_m}{\beta'_{m0}} = \frac{k'_m + \Delta'}{k'_m}, \qquad 89)$$

wo k'_m die Entfernung von P' bis zu B'_{0m}, dem meridionalen Pupillenpunkt, angibt.

Gl. 94) und 95) ergeben dann mit der immer gültigen Bedingung 90a) zum Schluß als notwendige und mit den immer gemachten Einschränkungen hinreichende Bedingung für die homöoplanatische (gleichmäßige) Abbildung eines Flächenelements das Gleichungspaar

$$\left.\begin{aligned} n'\beta'_{0s}(k_s' + \Delta')\cos\varepsilon_s' &= n\,k_s'\cos\varepsilon_s, \\ n'\beta'_{0m}(k'_m + \Delta')(\cos\varepsilon'_m - \cos\varepsilon'_{m0}) &= n\,k'_m(\cos\varepsilon_m - \cos\varepsilon_{m0}), \end{aligned}\right\} \qquad 90)$$

oder anders geschrieben

$$\left.\begin{aligned} \beta'_{0s} &= \frac{n\,k_s'\cos\varepsilon_s}{n'(k_s' + \Delta')\cos\varepsilon_s'}, \\ \beta'_{0m} &= \frac{n\,k'_m(\cos\varepsilon_m - \cos\varepsilon_{m0})}{n'(k'_m + \Delta')(\cos\varepsilon'_m - \cos\varepsilon'_{m0})}. \end{aligned}\right\} \qquad 91)$$

Die linken Seiten von Gl. 97) sind für alle Strahlen, die vom Objektpunkt ausgehen, konstant.

Eine geometrische Deutung von Gl. 96) findet man, wie folgt; man projiziere die Einheitsvektoren längs zusammengehöriger Strahlen auf die meridionale bzw. sagittale Richtung, dann ist

$$\left.\begin{aligned} n'\beta'_{0s}(k_s' + \Delta')p_s' &= n\,k_s'p_s, \\ n'\beta'_{0m}(k'_m + \Delta')(p'_m - p'_{m0}) &= n\,k'_m(p'_m - p_{m0}). \end{aligned}\right\} \qquad 92)$$

Die zweite Gl. 98) kann man wie folgt deuten. Man schlage um den Schnittpunkt der Strahlen mit dem Hauptstrahl Kreise, die durch den meridionalen Pupillenpunkt gehen, und um den Objektpunkt einen Kreis mit dem Radius

$$r = \frac{n\,k'_m}{n'\beta'_{0m}}. \qquad 93)$$

Es sind dann die Strahlen in der Meridianebene einander zugeordnet, für die die Differenz der Projektionen vom Schnittpunkt von Strahl und Hauptstrahl auf die meridional abgebildeten Richtungen gleich ist.

Der so im Objektraum (durch Gl. 99)) bestimmte Punkt auf dem Hauptstrahl ist natürlich im allgemeinen nicht dem bildseitigen meridionalen Pupillenpunkt im optischen Sinne konjugiert. Durch eine Parallelbetrachtung zu der in II, 1b angestellten Betrachtung finden wir, daß die beiden Punkte nur dann konjugiert sind, wenn die meridionale Pupillenvergrößerung

$$\beta'_{m0} = 1 \qquad 94)$$

ist, d. h. wenn unsere Pupille im meridionalen Hauptpunkt auf dem Hauptstrahl liegt.

Für die folgende Untersuchung wollen wir uns wieder auf die Strahlen in der Meridianebene beschränken. Da Ausgangskaustik, wie Nachbarkaustik rotationssymmetrisch sind, kann man sie bei Kenntnis ihrer Schnittfigur in der Meridianebene sofort konstruieren.

Wir wollen jetzt unter Voraussetzung homöoplanatischer Abbildung aus der Ausgangskaustik die Nachbarkaustik konstruieren. Es wird sich hier, wie in Kap. I § 2 gleichzeitig herausstellen, daß dann auch die zweiten Bilder, die im Berührungspunkt von Strahl und Kaustik entstehen, die durch die Straubelsche Gleichung (I, Gl. 21)) verlangte Größe haben.

Die Rechnung verläuft analog der in II, Kap. I, § 2. Wir projizieren das im Berührungspunkt des Strahls mit der Kaustik entstehende Bild auf die Richtung von $P_0'P'_{0m}$ und $P'P'_m$, die Länge der Projektion sei dl'_t. Dann ergibt der Straubelsche Satz:

$$n'\sin\varepsilon'\,d\varepsilon'\,dl'_t = n\sin\varepsilon\,d\varepsilon\,dl. \qquad 95)$$

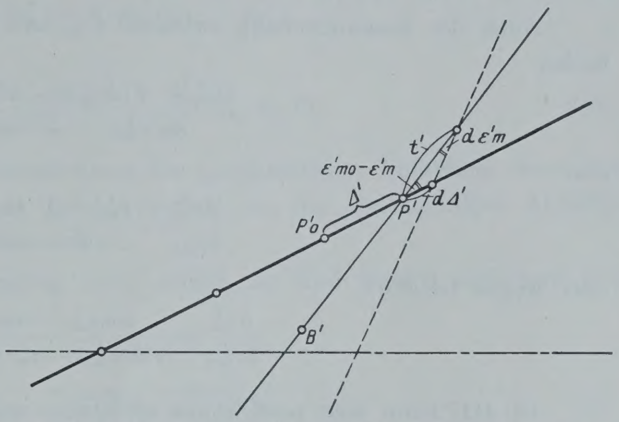


Abb. 17. Zusammenhang zwischen der Änderung der sphärischen Aberration $d\Delta'$ und der Änderung des Winkels $d\varepsilon'_m$.

Ein Strahl der Nachbarkaustik geht durch P'_m, er treffe den Strahl $B'P'P'_t$ in B'. Setzen wir $B'P' = x'$, $P'P'_t = t'$, dann ergibt Abb. 16

$$\frac{dl'_t}{dl_m} = \frac{dl'_t}{dl'_m}\,\frac{dl'_m}{dl'_{m0}}\,\frac{dl'_{m0}}{dl_m} = \frac{x'+t'}{x'}\,\frac{k'_m+\Delta'}{k'_m}\,\beta'_{0m}, \qquad 96)$$

also

$$\frac{x'+t'}{x'}\,\frac{k'_m+\Delta'}{k'_m}\,\beta'_{0m} = \frac{n\sin\varepsilon\,d\varepsilon}{n'\sin\varepsilon'\,d\varepsilon'}. \qquad 97)$$

Nun ist wieder (siehe Gl. 40)) und Abb. 17

$$t'\,d\varepsilon'_m = +\sin(\varepsilon'_{m0}-\varepsilon'_m)\,d\Delta', \qquad 98)$$

also

$$-n\,k'_m\sin\varepsilon_m\,d\varepsilon_m = d\left(n\,k'_m(\cos\varepsilon_m-\cos\varepsilon_{m0})\right) = -n'\,\beta'_{0m}(k'_m+\Delta')\sin\varepsilon'_m\,d\varepsilon'_m - \frac{t'(k'_m+\Delta')\,\beta'_{0m}\,n'\sin\varepsilon'_m\,d\varepsilon'_m}{x'}, \qquad 99)$$

oder wegen Gl. 104)

$$d\,n\,k'_m(\cos\varepsilon_m-\cos\varepsilon_{m0}) = -n'\,\beta'_{0m}(k'_m+\Delta')\sin\varepsilon'_m\,d\varepsilon'_m + \frac{(k'_m+\Delta')\,n'\sin(\varepsilon'_{m0}-\varepsilon'_m)\,\beta'_{0m}\sin\varepsilon'_m\,d\Delta'}{x'}. \qquad 100)$$

Nun gilt die Identität

$$d n'\,\beta'_{0m}(k'_m+\Delta')(\cos\varepsilon'_m-\cos\varepsilon'_{m0}) = -n'\,\beta'_{0m}(k'_m+\Delta')\sin\varepsilon'_m\,d\varepsilon'_m + n'\,\beta'_{0m}(\cos\varepsilon'_m-\cos\varepsilon'_{m0})\,d\Delta'. \qquad 101)$$

Die Differenz von Gl. 100) und 101) ergibt, da die linken Seiten der erfüllten Homöoplanasiebedingung wegen gleich sind, und das erste Glied der rechten Seite fortfällt,

$$n'\,\beta'_{0m}\,d\Delta'\left[(\cos\varepsilon'_m-\cos\varepsilon'_{m0}) - \frac{(k'_m+\Delta')\sin\varepsilon'_m\sin(\varepsilon'_{m0}-\varepsilon'_m)}{x'}\right] = 0$$

oder

$$x' = \frac{\sin\varepsilon'_m\sin(\varepsilon'_{m0}-\varepsilon'_m)}{\cos\varepsilon'_m-\cos\varepsilon'_{m0}}(k'_m+\Delta'). \qquad 102)$$

Eine Formel, die für

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon'_{m0} &= 90^0 \\ \varepsilon'_m &= 90^0 - u' \end{aligned}\right\} \qquad 103)$$

in Gl. 41) übergeht.

Auch der Zusammenhang zwischen $\delta\varepsilon'_m$ und $\delta\varepsilon'_{m0}$ ergibt sich aus Abb. 17. Wir finden

$$\frac{(k'_m + \Delta')\,\delta\varepsilon'_{m0}}{\sin\varepsilon'_{m0}} = \frac{x'\,\delta\varepsilon'_m}{\sin\varepsilon'_m}, \qquad 104)$$

also

$$\frac{\delta\varepsilon'_m}{\delta\varepsilon'_{m0}} = \frac{k'_m + \Delta'}{x'}\,\frac{\sin\varepsilon'_m}{\sin\varepsilon'_{m0}}$$

oder wegen Gl. 108)

$$\frac{\delta\varepsilon'_m}{\delta\varepsilon'_{m0}} = \frac{\cos\varepsilon'_m - \cos\varepsilon'_{m0}}{\sin(\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m)\sin\varepsilon'_{m0}}. \qquad 105)$$

Gl. 111) kann man noch etwas umformen unter Benutzung der bekannten Iden-titäten

$$\cos\varepsilon'_m - \cos\varepsilon'_{m0} = +\,2\sin\frac{\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m}{2}\sin\frac{\varepsilon'_{m0} + \varepsilon'_m}{2},$$

$$\sin(\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m) = 2\sin\frac{\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m}{2}\cos\frac{\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m}{2},$$

$$\sin\frac{\varepsilon'_m + \varepsilon'_{m0}}{2} = \sin\frac{\varepsilon'_{m0}}{2}\cos\frac{\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m}{2} - \cos\frac{\varepsilon'_{m0}}{2}\sin\frac{\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m}{2},$$

und erhält nach einer kleinen Rechnung die wichtige Gleichung

$$\frac{\delta(\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0})}{\delta\varepsilon'_{m0}} = \frac{\operatorname{tg}\dfrac{\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}}{2}}{\operatorname{tg}\varepsilon'_{m0}}. \qquad 106)$$

Gl. 102) kann man in recht eleganter Weise zur Konstruktion der Nachbarkausti benutzen. Dies von Dr. Lihotzky her rührende Verfahren soll im folgende angegeben werden.

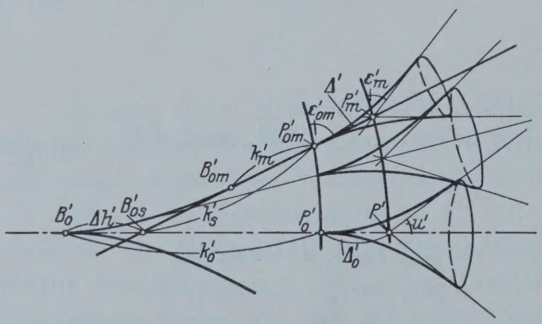


Abb: 18. Konstruktion der Nachbarkaustik.

Man schlage um P' mit dem Ra dius $P'B'_{0m} = k'_m + \Delta'$ einen Kreis, de den benachbarten Strahl in A trifft. Ma projiziere A senkrecht und parallel zu Verschiebungsrichtung nach C bzw. D so daß C mit B'_{0m} auf einer Parallele D mit P' auf einem Lot zur Verschie bungsrichtung liegen, fälle von B'_{0m} da Lot $B_{0m}E$ auf den Nachbarstrahl. Das von D auf die Gerade CE gefällte Lot trif unsern Nachbarstrahl in dem gesuchten Punkt B', so daß $B'P' = x'$ wird.

Obige Konstruktion folgt aus der Ähnlichkeit der Dreiecke CEB'_{0m} und $DB'P$ deren Seiten paarweise aufeinander senkrecht stehen. Es ist also

$$B'P' = \frac{B'_{0m}E}{B'_{0m}C}P'D. \qquad 107)$$

Nun ist

$$\left.\begin{aligned} B'P' &= x', \\ P'D &= (k'_m + \Delta')\sin\varepsilon'_m, \\ B'_{0m}C &= (k'_m + \Delta')(\cos\varepsilon'_m - \cos\varepsilon'_{m0}), \\ B'_{0m}E &= (k'_m + \Delta')\sin(\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m), \end{aligned}\right\} \tag{108}$$

also

$$x' = \frac{\sin\varepsilon'_m \sin(\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m)}{\cos\varepsilon'_m - \cos\varepsilon'_{m0}}(k'_m + \Delta'). \tag{109}$$

Hiermit können wir die Untersuchung der gleichmäßigen Abbildung eines meridionalen Linienelements oder, was gleichbedeutend ist, der gleichmäßigen Abbildung eines Flächenelements, als beendet ansehen.

Ist die Homöoplanasiebedingung nicht erfüllt, so sind immer noch zwei Fälle unterscheidbar.

1. Die Größe

$$\beta'_m = \frac{n(\cos\varepsilon_m - \cos\varepsilon_{m0})}{n'(\cos\varepsilon'_m - \cos\varepsilon'_{m0})} \tag{110}$$

ist eine reine Funktion von Δ', d. h. ist eine Konstante für alle Strahlen eines bildseitigen Kegelmantels. Dann wird durch die Strahlen eines solchen Kegelmantels, auch wenn Gl. 89) nicht erfüllt ist, doch eine Art Abbildung vermittelt. Alle Strahlen der Nachbarkaustik gehen dann (bis auf Größen höherer Ordnung) durch eine in der Meridianebene gelegene Kurve, die erhalten wird, wenn man in jedem Punkt des Hauptstrahls parallel der Verschiebungsrichtung der kaustischen Spitze die durch Gl. 110) gegebene Größe anträgt. Die Abbildung des Flächenelements ist dann von derselben Güte, wie die Abbildung des in der Achse gelegenen Flächenelements bei nicht gehobener Isoplanasiebedingung.

2. Ist auch β'_m nicht eine reine Funktion der sphärischen Abweichung, so wird die Abbildung noch wesentlich schlechter.

§ 3. Dem außeraxialen Punkt entspricht eine nur einfach symmetrische Kaustik.

Die Aussagen, die in diesem Fall über die Abbildung eines Nachbarpunktes gemacht werden können, sind ziemlich spärlich. Sie beruhen im wesentlichen auf einem, eigentlich in Teil I gehörenden Satz, der inzwischen von Dr. Boegehold und vom Verfasser bewiesen worden ist (Boegehold (5) und Herzberger (7)).

Verallgemeinerter Kosinussatz. Mögen in einem beliebigen System zwei Nachbarpunkten bildseitig zwei kongruente Kaustiken entsprechen, dann gilt ein Kosinussatz der Form

$$n'\,dl'\cos\varepsilon' - n\,dl\cos\varepsilon = \text{Const.}, \tag{111}$$

wo dl' die (variable) Entfernung homologer Punkte angibt.

Der Beweis verläuft wie folgt: Seien $O\,O_1$ die Objektpunkte, $P'Q'$ bzw. $P_1'Q_1'$ die Berührungspunkte zweier Strahlen mit den Bildkaustiken. Zwei homologe Wellenflächen mögen unsere Strahlen in $A'B'$ bzw. $A_1'B_1'$ treffen. Sei $E(AB)$ die Länge des Lichtweges zwischen A und B, dann gilt

$$\left.\begin{aligned} E(OA') &= E(OB'), \\ E(OA_1') &= E(OB_1') \end{aligned}\right\} \tag{112}$$

wegen der Eigenschaft der Wellenflächen.

$$\left.\begin{aligned} E(A'P') &= E(A_1'P_1'), \\ E(B'Q') &= E(B_1'Q_1') \end{aligned}\right\} \qquad 113)$$

als Lichtweg zwischen homologen Stücken.

Daraus folgt

$$E(OP') - E(O_1P_1') = E(OA') + E(A'P') - E(O_1A_1') - E(A_1'P_1')$$
$$= E(OA') - E(O_1A_1') = E(OB') - E(O_1B_1') =$$
$$E(OB') + E(B'Q') - E(O_1B_1') - E(B_1'Q_1') = E(OQ') - E(O_1Q_1),$$

also

$$E(OP') - E(O_1P_1') = E(OQ') - E(O_1Q_1'),$$

d. h. die Lichtwegdifferenzen zwischen homologen Punkten sind gleich.

Daraus ergibt sich, wie in Teil I, Kap. 2, 1 wieder

$$n'\,dl'\cos\varepsilon' - n\,dl\cos\varepsilon = \text{Const.} \qquad 114)$$

a) Die Abbildung eines sagittalen Linienelements.

Auch hier folgt aus der Rotationssymmetrie sofort, daß Ausgangs- und Nachbarkaustik kongruent sind und durch Drehung um den Winkel $d\varphi$ auseinander hervorgehen. Wir erhalten

$$n'\,dl_s'\cos\varepsilon_s' - n\,dl_s\cos\varepsilon_s = 0$$

und weil

$$\left.\begin{aligned} dl_s &= r\,d\varphi \\ dl_s' &= r'\,d\varphi' \end{aligned}\right\} \qquad 115)$$

ist

$$n'r'\cos\varepsilon_s' = n\,r\,\mathrm{coc}\,\varepsilon_s, \qquad 116)$$

wo r' den von Strahl zu Strahl wechselnden Abstand der Punkte der kaustischen Fläche von der Achse bedeutet.

Gl. 116) ist, wie man leicht erkennt, eine Verallgemeinerung der Kerberschen Gl. 84).

b) Die Abbildung eines meridionalen Linienelements.

Wir beschränken uns hier auf die Strahlen in der Meridianebene und die meridionale Kaustik. Dann können wir noch folgenden Spezialfall untersuchen.

Die dem Nachbarpunkt entsprechende Kaustik gehe aus der ursprünglichen durch eine Parallelverschiebung hervor. Dann gilt für alle Strahlen, wenn

$$dl_m' = \beta_m'\,dl_m \qquad 117)$$

die Größe der bildseitigen Parallelverschiebung angibt,

$$n'\beta_m'\cos\varepsilon_m' - n\cos\varepsilon_m = C_m, \qquad 118)$$

eine Beziehung, die bei punktförmiger Bildkaustik mit 52) übereinstimmt.

Weitere Aussagen über die Nachbarkaustik lassen sich mit den Hilfsmitteln dieser Arbeit nicht geben. (Schluß folgt.)

Über Bildweitenbestimmung bei geneigten Photogrammen.

Von

Prof. Dr. **A. Hornoch**, Montan- und Forsthochschule zu Sopron (Ungarn).

In *dieser Zeitschr.* **47.** *S. 579. 1927* behandelten wir bereits den allgemeinen Fall der Hauptpunkt- und Bildweitenbestimmung bei Photogrammen, indem wir die Aufgabe auf das bekannte räumliche Rückwärtseinschneiden zurückführten. Die ziemlich langwierige Lösung des räumlichen Rückwärtseinschneidens macht aber die Suche nach einer einfacheren Lösung noch immer wünschenswert.

Im Falle der überschüssigen Beobachtungen — und bei Bildweitenbestimmung ist dies in der Regel der Fall — vereinfacht sich nämlich die Aufgabe im Vergleich zum gewöhnlichen mehrfachen Rückwärtseinschneiden dadurch, daß hier sämtliche Punkte in einer Ebene, in der Plattebene liegen. — Dieser Umstand kann nun vorteilhaft zu einer linearen Berechnung der Bildweite auch bei geneigten Photogrammen verwendet werden, und zwar bereits dann, wenn vier gegebene Feldpunkte zur Bestimmung herangezogen werden.

Die Voraussetzung sei dieselbe wie früher. Die einzelnen Horizontalwinkel zwischen den gegebenen Feldpunkten mit dem optischen Mittelpunkt der Kamera als Winkelscheitel sind gegeben; die Entfernungen $\overline{p_1 p_2}$, $\overline{p_1 p_3}$, $\overline{p_2 p_3}$ usw. (Abb. 2) der einzelnen Bildpunkte am Photogramm P können durch direkte Abmessungen erhalten werden. Wir können nun, wie früher, die räumlichen Winkel zwischen den einzelnen Bildstrahlen, die Positionswinkel a, b, c, usw. in bekannter Weise rechnen. Wenn nämlich in Abb. 1 um O als Mittelpunkt eine Kugel geschlagen wird, so können sämtliche Positionswinkel aus den dazu gehörigen Horizontal- und Höhenwinkeln mit Hilfe des sphärischen Kosinussatzes ausgedrückt werden:

$$\cos c = \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cdot \cos \varphi_2 \cdot \cos \delta_1 \quad \text{usw.}$$

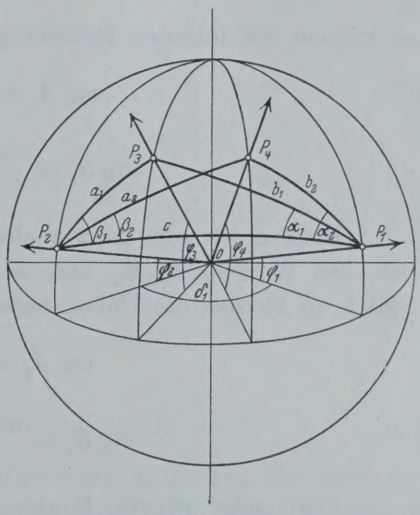


Abb. 1.

Aus später noch zu erörternden Gründen bestimmen wir nur jene Positionswinkel, welche die Strahlen P_1 und P_2 mit den übrigen bilden. Infolge dieser Annahme entstehen in Abb. 1 solche sphärische Dreiecke, deren eine Seite $\widehat{P_1 P_2} = c$ gemeinsam ist. Bei vier gegebenen Punkten sind dies die Dreiecke $P_1 P_2 P_3$ und $P_1 P_2 P_4$.

Die Eckwinkel der durch die Bildstrahlen gebildeten Ebenen bezeichnen wir bei P_1 mit α_1, α_2 bzw. α_3 usw., wenn mehrere Punkte gegeben sind; ebenso mit β_1, β_2 bzw. β_3 usw. bei P_2. — Alle diese Winkel können nach Berechnung der Positionswinkel sofort angegeben werden:

$$\cos \frac{\alpha_1}{2} = \sqrt{\frac{\sin s \cdot \sin (s - a)}{\sin b \cdot \sin c}} \quad \text{bzw.} \quad \cos \frac{\beta_1}{2} = \sqrt{\frac{\sin s \cdot \sin (s - b)}{\sin a \cdot \sin c}} \text{ usw.}$$

Greifen wir nun in Abb. 2 nur drei Bildstrahlen P_1, P_2 und P_3 heraus und wählen wir aus zeichnerischen Gründen das positive Bild als Bildebene, so ergibt sich, falls die

Bildpunkte p_1, p_2 und p_3 an den entsprechenden Bildstrahlen $\overrightarrow{OP_1}$, $\overrightarrow{OP_2}$ und $\overrightarrow{OP_3}$ liegen, die relative Lage des Photogramms P in der gezeichneten Form. In der erhaltenen Abbildung sind zunächst bekannt die Eckwinkel der durch die Bildstrahlen bestimmten Ebenen α_1 und β_1, weiter die im Dreieck $p_1\,p_2\,p_3$ bei p_1 bzw. p_2 erscheinenden Winkel A_1 und B_1, die entweder durch direkte Abmessungen oder durch die Seitenlängen des Dreiecks $p_1\,p_2\,p_3$ gegeben erscheinen. Bezeichnen wir nun den Winkel, den die Bildebene mit der Ebene der Bildstrahlen P_1 und P_2 einschließt, mit x, den Winkel, den $\overline{p_1\,p_2}$ mit $\overrightarrow{OP_1}$ bildet, mit y, den mit $\overrightarrow{OP_2}$ eingeschlossenen dagegen mit y', wobei $y' = 180^0 - c - y$ ist, oder, wenn wir $180^0 - c$, als eine Konstante k zusammenziehen:

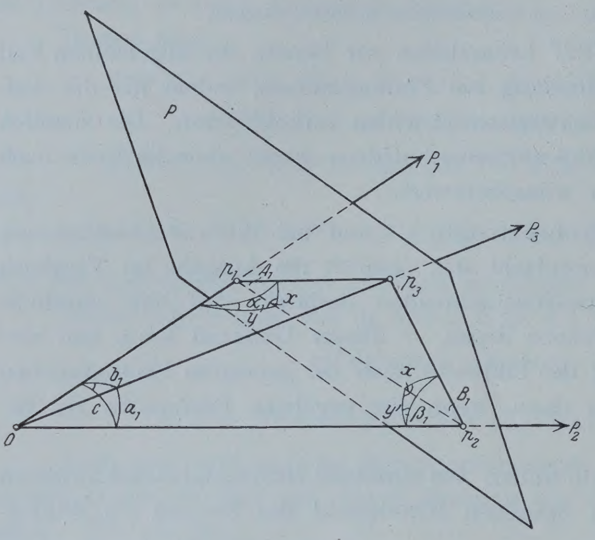


Abb. 2.

$$y' = k - y,$$

so können wir folgende Beziehungen anschreiben:

$$\operatorname{ctg} A_1 = \frac{\cos x \cdot \cos y + \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin x}{\sin y}, \tag{1}$$

$$\operatorname{ctg} B_1 = \frac{\cos x \cdot \cos (k - y) + \operatorname{ctg} \beta_1 \cdot \sin x}{\sin (k - y)}. \tag{2}$$

Denken wir nun ganz analog mit Hilfe des vierten Punktes ein Dreieck $p_1\,p_2\,p_4$ mit den Winkeln A_2, B_2 und den diesen entsprechenden Eckwinkeln α_2 und β_2 gebildet, so bleiben die Unbekannten x und y dieselben, und wir erhalten:

$$\operatorname{ctg} A_2 = \frac{\cos x \cdot \cos y + \operatorname{ctg} \alpha_2 \cdot \sin x}{\sin y}, \tag{3}$$

$$\operatorname{ctg} B_2 = \frac{\cos x \cdot \cos (k - y) + \operatorname{ctg} \beta_2 \cdot \sin x}{\sin (k - y)}. \tag{4}$$

Sind mehr als vier Punkte gegeben, so schreiben wir aus dem Dreieck $p_1\,p_2\,p_5$ ganz ähnlich die Beziehungen für $\operatorname{ctg} A_3$ und $\operatorname{ctg} B_3$ usw. an. Entwickeln wir die Gleichungen und zwar derart, daß nach 1) die Gleichung 3) gesetzt wird, so wird:

$$\operatorname{ctg} \mathrm{A}_1 \cdot \sin y = \cos x \cdot \cos y + \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin x \tag{5}$$

$$\operatorname{ctg} A_2 \cdot \sin y = \cos x \cdot \cos y + \operatorname{ctg} \alpha_2 \cdot \sin x \tag{6}$$

$$\begin{aligned} &\operatorname{ctg} B_1 \cdot \sin k \cdot \cos y - \operatorname{ctg} B_1 \cdot \cos k \cdot \sin y \\ &= \cos x \cdot \cos k \cdot \cos y + \cos x \cdot \sin k \cdot \sin y + \operatorname{cotg} \beta_1 \cdot \sin x \end{aligned} \tag{7}$$

$$\begin{aligned} &\operatorname{ctg} B_2 \cdot \sin k \cdot \cos y - \operatorname{ctg} B_2 \cdot \cos k \cdot \sin y \\ &= \cos x \cdot \cos k \cdot \cos y + \cos x \cdot \sin k \cdot \sin y + \operatorname{ctg} \beta_2 \cdot \sin x \end{aligned} \tag{8}$$

usw. (im Falle mehrerer Punkte).

Wie aus obigen Gleichungen ersichtlich, stellen diese für x und y den Fall der vermittelnden Beobachtungen vor. Da die Unbekannten in transzendenten Funktionen

vorkommen, verwenden wir zur Lösung der Aufgabe vorteilhaft Nährungswerte x_0 und y_0. — Zu diesem Zwecke greifen wir die Gleichungen 5) und 6) heraus.

Bezeichnen wir $\operatorname{ctg} A_1$ als gegebene Konstante mit a_1, $\operatorname{ctg} \alpha_1$ mit b_1, analog $\operatorname{ctg} A_2$ mit a_2 und $\operatorname{ctg} \alpha_2$ mit b_2, so erhalten wir:

$$a_1 \cdot \sin y = \cos x \cdot \cos y + b_1 \cdot \sin x,$$
$$a_2 \cdot \sin y = \cos x \cdot \cos y + b_2 \cdot \sin x,$$

oder nachdem durch $\sin x$ dividiert wurde:

$$a_1 \frac{\sin y}{\sin x} = \operatorname{cotg} x \cdot \cos y + b_1,$$

$$a_2 \frac{\sin y}{\sin x} = \operatorname{cotg} x \cdot \cos y + b_2.$$

Indem $\frac{\sin y}{\sin x}$ als neue Unbekannte mit ξ, $\operatorname{ctg} x \cdot \cos y$ mit η bezeichnet wurde, wird somit:

$$a_1 \cdot \xi - \eta = b_1,$$
$$a_2 \cdot \xi - \eta = b_2,$$

woraus man ξ und η sofort erhalten kann. Um nun aus ξ und η, x und y zu bestimmen, schreiben wir:

$$\frac{\sin y}{\sin x} = \xi \qquad 9)$$

und

$$\operatorname{ctg} x \cdot \cos y = \eta. \qquad 10)$$

Aus ersterer wird $\sin y = \xi \cdot \sin x$, folglich

$$\cos y = \sqrt{1 - \xi^2 \cdot \sin^2 x};$$

diesen Wert in die zweite Gleichung eingesetzt:

$$\operatorname{ctg} x \sqrt{1 - \xi^2 \cdot \sin^2 x} = \eta,$$

oder

$$\sqrt{1 - \sin^2 x} \cdot \sqrt{1 - \xi^2 \cdot \sin^2 x} = \eta \cdot \sin x.$$

Nach erfolgter Ordnung:

$$\xi^2 \cdot \sin^4 x - (1 + \xi^2 + \eta^2) \cdot \sin^2 x + 1 = 0 \qquad 11)$$

eine zu einer Gleichung 2. Grades reduzierbare Gleichung 4. Grades, die nach $\sin^2 x$ aufgelöst werden kann. Wenn auch diese einzige Gleichung nicht linear, sondern quadratisch wurde, so ist deren Anwendung mit Rücksicht auf die einfache Auflösung ohne weiteres zulässig. — Nach Berechnung von x wird y nach Gleichung 9) erhalten. Die Mehrdeutigkeit von x nach Gl. 11) kann, falls aus der räumlichen Lage selbst nicht zu ersehen wäre, durch Heranziehung der Gl. 2) oder 4) beseitigt werden, wobei zu bemerken wäre, daß die zwei negativen Lösungen für $\sin x$, da x einen Dreieckswinkel bedeutet, von vorherein ausgeschaltet werden können. — Sind nicht vier, sondern fünf oder mehr Punkte gegeben, so haben wir an Stelle von 5) und 6) drei Gleichungen, wodurch selbst die Näherungswerte für x und y vollkommen auf linearem Wege erhalten werden können.

Nachdem wir so für x und y Näherungswerte x_0 und y_0 verschafft haben, können wir für die gesuchten Korrektionen δx und δy aus Gl. 5)—8) folgende Beziehungen anschreiben:

$$\operatorname{ctg} A_1 \cdot \sin(y_0 + \delta y) = \cos(x_0 + \delta x) \cdot \cos(y_0 + \delta y) + \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin(x_0 + \delta x),$$
$$\operatorname{ctg} A_2 \cdot \sin(y_0 + \delta y) = \cos(x_0 + \delta x) \cdot \cos(y_0 + \delta y) + \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin(x_0 + \delta x),$$
$$\operatorname{ctg} B_1 \cdot \sin k \cdot \cos(y_0 + \delta y) - \operatorname{ctg} B_1 \cdot \cos k \cdot \sin(y_0 + \delta y) =$$
$$= \cos(x_0 + \delta x) \cdot \cos k \cdot \cos(y_0 + \delta y) + \sin k \cdot \cos(x_0 + \delta x) \cdot \sin(y_0 + \delta y) + \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin(x_0 + \delta x),$$
$$\operatorname{ctg} B_2 \cdot \sin k \cdot \cos(y_0 + \delta y) - \operatorname{ctg} B_2 \cdot \cos k \cdot \sin(y_0 + \delta y) =$$
$$= \cos(x_0 + \delta x) \cdot \cos k \cdot \cos(y_0 + \delta y) + \sin k \cdot \cos(x_0 + \delta x) \cdot \sin(y_0 + \delta y) + \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin(x_0 + \delta x),$$

usw. im Falle mehrerer Punkte. — Wenden wir auf diese Gleichungen die Taylorsche Reihe an und berücksichtigen wir, daß, da x_0 und y_0 durch Rechnung erhaltene gute Näherungen darstellen, die höheren Potenzen der Taylorschen Reihe vernachlässigt werden können, so erhalten wir nach entsprechender Ordnung:

$$\delta x (\sin x_0 \cdot \cos y_0 - \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \cos x_0) + \delta y (\cos x_0 \cdot \sin y_0 + \operatorname{ctg} A_1 \cdot \cos y_0) + (\operatorname{ctg} A_1 \cdot \sin y_0 - \cos x_0 \cdot \cos y_0 - \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin x_0) = 0,$$
$$\delta x (\sin x_0 \cdot \cos y_0 - \operatorname{ctg} \alpha_2 \cdot \cos x_0) + \delta y (\cos x_0 \cdot \sin y_0 + \operatorname{ctg} A_2 \cdot \cos y_0) + (\operatorname{ctg} A_2 \cdot \sin y_0 - \cos x_0 \cdot \cos y_0 - \operatorname{ctg} \alpha_2 \cdot \sin x_0) = 0,$$
$$\delta x [\sin x_0 \cdot \cos(y_0 - k) - \operatorname{ctg} \beta_1 \cdot \cos x_0] + \delta y [\cos x_0 \cdot \sin(y_0 - k) - \operatorname{ctg} B_1 \cdot \cos(y_0 - k)] + [-\operatorname{ctg} B_1 \cdot \sin(y_0 - k) - \cos x_0 \cdot \cos(y_0 - k) - \operatorname{ctg} \beta_1 \cdot \sin x_0] = 0,$$
$$\delta x [\sin x_0 \cdot \cos(y_0 - k) - \operatorname{ctg} \beta_2 \cdot \cos x_0] + \delta y [\cos x_0 \cdot \sin(y_0 - k) - \operatorname{ctg} B_2 \cdot \cos(y_0 - k)] + [-\operatorname{ctg} B_2 \cdot \sin(y_0 - k) - \cos x_0 \cdot \cos(y_0 - k) - \operatorname{ctg} \beta_2 \cdot \sin x_0] = 0.$$

Indem wir die Klammerausdrücke als bekannte Größen mit a_1', b_1', l_1' bzw. a_2', b_2', l_2' usw. bezeichnen, so erhalten wir die Funktionsgleichungen:

$$\left.\begin{aligned} a_1' \cdot \delta x + b_1' \cdot \delta y + l_1' &= 0, \\ a_2' \cdot \delta x + b_2' \cdot \delta y + l_2' &= 0, \\ a_3' \cdot \delta x + b_3' \cdot \delta y + l_3' &= 0, \\ a_4' \cdot \delta x + b_4' \cdot \delta y + l_4' &= 0, \end{aligned}\right\} \qquad 12)$$

woraus wieder die Normalgleichungen und aus letzteren die wahrscheinlichsten Werte der Korrektionen δx und δy gerechnet werden.

Dann wird

$$x = x_0 + \delta x \quad \text{und} \quad y = y_0 + \delta y. \qquad 13)$$

Streng genommen sind die Gl. 12) nicht alle gleichgewichtig, da die Winkel A_1, A_2, bzw. B_1, B_2 nicht dieselbe Genauigkeit besitzen. — Falls wir diese Winkel aus den Seiten rechnen und die berechtigte Annahme machen, daß sämtliche Seitenlängen $\overline{p_1 p_2}$ usw. vom Photogramm mit derselben Genauigkeit erhalten werden, so ist es unschwer, mit Hilfe des Fehlerfortpflanzungsgesetzes die Gewichte für die Winkel A_1, A_2 usw. zu bestimmen. Im Vergleich zu den Längenabmessungen und den aus diesen gerechneten Winkeln können die mit dem Theodolit gemessenen Horizontal- und Höhenwinkel und die daraus ermittelten α_1, α_2, β_1, β_2 usw. als fehlerfrei angesehen werden. Bemerkt sei weiters aus diesem folgend, daß die Gl. 12) ohne Rücksicht darauf, welche Größen die beobachteten (d. h. fehlerhaften) sind, aufgestellt wurde, wodurch sie das Minimum der Quadrate der aus den einzelnen Gleichungen sich ergebenden Unstimmigkeiten

liefern. Nach der Theorie der Methode der kleinsten Quadrate soll jedoch die Summe der Quadrate der an die Beobachtungen anzufügenden Verbesserungen ein Minimum werden. In diesem Fall ist aber keiner der in den Gleichungen erscheinenden Größen direkt beobachtet worden, sondern die Größen A_1, B_1 usw. wurden selbst erst aus den beobachteten Seitenlängen $\overline{p_1 p_2}$ usw. gerechnet. Es ist daher nicht nur einfacher, sondern auch theoretisch richtiger, die Winkel A_1, B_1 usw. nicht aus den Seitenlängen zu berechnen, sondern mit Hilfe eines Transporteurs unmittelbar zu bestimmen. Da sind dann diese Größen die beobachteten und daher mit Verbesserungen v zu versehen. Wir ersetzen daher in den Absolutgliedern der Funktionsgleichungen $\operatorname{ctg} A$ durch $\operatorname{ctg}(A+v)$, $\operatorname{ctg} B$ durch $\operatorname{ctg}(B+v)$, betrachten sie aber in den Koeffizienten von δy für fehlerfrei, eine Annahme, die in der Ausgleichsrechsrechnung häufig gemacht wird (vgl. Konstantenbestimmung der Tachymeter, wo die Lattenablesung als fehlerfrei angesehen wird). Wenn wir jetzt die anzufügenden Verbeserungen durch die entsprechenden Tafeldifferenzen in lineare Form überführen: $\operatorname{ctg} A + \lambda_A \cdot v_A$, so können die streng richtigen Verbesserungsgleichungen folgend ausgeschrieben werden:

$$v_{A_1} = \delta x \left(\frac{\sin x_0 \cdot \cos y_0 - \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \cos x_0}{-\lambda_{A_1} \cdot \sin y_0} \right) + \delta y \left(\frac{\cos x_0 \cdot \sin y_0 + \operatorname{ctg} A_1 \cdot \cos y_0}{-\lambda_{A_1} \cdot \sin y_0} \right)$$
$$+ \left(\frac{\operatorname{ctg} A_1 \cdot \sin y_0 + \cos x_0 \cdot \cos y_0 + \operatorname{ctg} \alpha_1 \cdot \sin x_0}{\lambda_{A_1} \cdot \sin y_0} \right) \text{ usw.}$$

Es haben somit nur die Klammerausdrücke eine etwas andere Form. Die weitere Auflösung der Verbesserungsgleichungen kann als bekannt vorausgesetzt werden. —

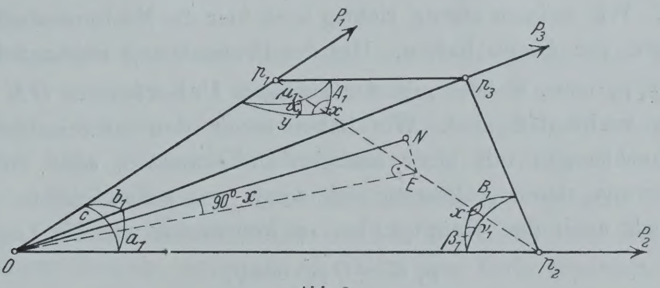


Abb. 3.

Nachdem die wahrscheinlichsten Werte von x und y berechnet wurden, bestimmen wir die Winkel μ_1, μ_2 bzw. ν_1 und ν_2, die der Bildstrahl $\overrightarrow{O p_1}$ mit der Seite $\overline{p_1 p_3}$ usw., bzw. $\overrightarrow{O p_2}$ mit $\overline{p_2 p_3}$ usw. einschließt (Abb. 3):

$$\left.\begin{aligned}
\operatorname{ctg} \mu_1 &= \frac{\sin \alpha_1 \cdot \operatorname{ctg} x + \cos \alpha_1 \cdot \cos y}{\sin y}, \\
\operatorname{ctg} \nu_1 &= \frac{\sin \beta_1 \cdot \operatorname{ctg} x + \cos \beta_1 \cdot \cos(180^0 - c - y)}{\sin(180^0 - c - y)}, \\
\operatorname{ctg} \mu_2 &= \frac{\sin \alpha_2 \cdot \operatorname{ctg} x + \cos \alpha_2 \cdot \cos y}{\sin y}, \\
\operatorname{ctg} \nu_2 &= \frac{\sin \beta_2 \cdot \operatorname{ctg} x + \cos \beta_2 \cdot \cos(180^0 - c - y)}{\sin(180^0 - c - y)}.
\end{aligned}\right\} \quad 14)$$

Dann wird

$$\left.\begin{aligned}
\overline{O\,p_1} &= \frac{\overline{p_1\,p_2}}{\sin c}\sin(180^0 - c - y),\\
\overline{O\,p_1} &= \frac{\overline{p_1 p_3}}{\sin b_1}\sin(180^0 - \mu_1 - b_1),\\
\overline{O\,p_1} &= \frac{\overline{p_1\,p_4}}{\sin b_2}\sin(180^0 - \mu_2 - b_2),\\
\text{bzw.}\quad \overline{O\,p_2} &= \frac{\overline{p_1\,p_2}}{\sin c}\sin y,\\
\overline{O\,p_2} &= \frac{\overline{p_2\,p_3}}{\sin a_1}\sin(180^0 - \nu_1 - a_1),\\
\overline{O\,p_2} &= \frac{\overline{p_2\,p_4}}{\sin a_2}\sin(180^0 - \nu_2 - a_2).
\end{aligned}\right\} \qquad 15)$$

Im arithmetischen Mittel erhalten wir dann den wahrscheinlichsten Wert von $\overline{O\,p_1}$ bzw. $\overline{O\,p_2}$. Die Entfernung des Punktes O von $\overline{p_1\,p_2}$ wird dann:

$$\overline{O\,E} = \overline{O\,p_1}\cdot\sin y = \overline{O\,p_2}\cdot\sin(180^0 - c - y)$$

und die normale Entfernung von O von der Platte, die gesuchte Bildweite $\overline{O\,N}$:

$$\overline{O\,N} = \overline{O\,E}\cdot\sin x = \overline{O\,p_1}\cdot\sin y\cdot\sin x = \overline{O\,p_2}\cdot\sin(180^0 - c - y)\sin x. \qquad 16)$$

Es ist noch der Vollständigkeit halber zu bemerken, daß die Anwendung des arithmetischen Mittels auf die Gleichungen 15) nach den Regeln der Ausgleichsrechnung streng genommen nicht ganz gerechtfertigt ist, da sie aus verschiedenen Funktionen erhalten werden. Wir müssen streng richtig auch hier die Minimumsbedingung der Verbesserungsquadrate vor Augen halten. Die der Beobachtung zugänglichen Größen sind hier die Seiten $\overline{p_1\,p_2}$ usw., welche mit der einzigen Unbekannten $\overline{O\,N}$ durch verschiedene Funktionen verbunden sind. Wir haben somit den interessanten Fall der vermittelnden Beobachtungen mit einer einzigen Unbekannten, aber mit verschiedenen Koeffizienten vor uns, deren Auflösung sich somit von selbst ergibt.

Brauchen wir auch den Hauptpunkt, so bestimmen wir die Lage von E durch

$$\overline{p_1\,E} = \overline{O\,p_1}\cdot\cos y,$$
$$\overline{p_2\,E} = \overline{O\,p_2}\cdot\cos(180^0 - c - y).$$

Von diesem Punkt E liegt dann der Hauptpunkt in der normalen Entfernung $\overline{O\,E}\cdot\cos x$, und zwar an jener Seite des Photogramms, welche von $\overline{p_1\,p_2}$ gerechnet dem Punkt O zufällt. Dadurch ist aber die gestellte Aufgabe restlos gelöst.

Das Auflösungsvermögen der Fernrohre von kleinen und mittleren geodätischen Vermessungsinstrumenten.

Von

Karl Lüdemann in Freiberg-Sachsen.

1. Auch bei den Fernrohren von kleinen und mittleren geodätischen Vermessungsinstrumenten, die zum Zielen mit einem Fadenkreuz eingerichtet sind, handelt es sich darum, benachbarte Punkte oder Linien getrennt zu sehen, sie zu trennen, also das Bild, das vom Objektiv entworfen wird, in seine Einzelheiten aufzulösen. Und zwar gilt das auch von der Beobachtung nicht selbstleuchtender Körper, wie sie bei den üblichen kleineren geodätischen Messungen die Regel bilden.

Zu einer Vorstellung über die Grenzen des Abbildungsvermögens einer aus einem Fernrohr und dem Auge zusammengesetzten Linsenfolge führen die Wellenlehre und die physiologische Optik [**1.** S. 558—563; **2.** S. 34—38]. Aus Betrachtungen über das Trennungsvermögen von Doppelsternen ist man zu Zahlenwerten gekommen, die jedoch für die bei praktischen Vermessungen benutzten Fernrohre nur geringe Bedeutung haben.

Einen Grenzwert für die Auflösung von Einzelheiten hat man in der Beziehung

$$\psi = \frac{1{,}22\,\lambda}{0}$$

gefunden, worin ψ den dingseitigen Winkel der „Einzelheiten", λ die Wellenlänge und 0 die freie (wirksame) Objektivöffnung bedeutet. Den Kehrwert des Wertes von ψ sieht man als Maß des Trennungs-, Unterscheidungs- oder Auflösungsvermögens an [**2.** S. 35]. Will man ψ in Bogensekunden ausdrücken, so ergibt sich dafür die Näherung [**3.** S. 353]

$$\psi = \frac{120}{0}.$$

Setzt man die „Sehschärfe" des Auges zu 1′ an und läßt diesen Wert für nicht zu schlechte Beleuchtung und für gute Beobachter gelten, so hat man den Satz:

> „Man kann pro Millimeter Eintrittspupillen-Durchmesser eine halbe Vergrößerungseinheit rechnen, wenn man die im Bilde vorhandenen Feinheiten eben erkennen, eine ganze Vergrößerungseinheit, wenn man sie bequem sehen will. Darüberliegende Vergrößerungen sind „tote", unnütze, darunterliegende ungenügend, um die Leistungen des Objektivs zur Geltung zu bringen" [**1.** S. 561].

Oder in anderer Fassung:

> „Die Austrittspupille des Fernrohres darf für eben genügendes Auflösen nicht größer als 2 mm (genauer 2,44 mm) sein; von einem Werte der Austrittspupille kleiner als etwa 1 mm an zeigt eine weitere Steigerung der Fernrohrvergrößerung einem scharfen Auge keine neuen Einzelheiten" [**1.** S. 562].

2. S. Stampfer [**4**] konstruierte im Jahre 1836 für die optische Werkstätte von Plößl in Wien eine Prüfungstafel für Fernrohre [**4.** Taf. 1, Abb. 5], deren Anordnung noch heute mit seinem Namen verknüpft ist. Mit ihrer Hilfe ermittelte er für zehn Beobachter den kleinsten Sehwinkel für das fehlerfreie unbewaffnete Auge im Mittel zu $\sim 45''$ bei Schwankung zwischen $37''$ und $55''$. Demgemäß nimmt er für dasjenige Fernrohr „vollkommene Präzision" an, für das gilt

$$\text{Vergrößerung} \times \text{kleinster Sehwinkel} = 45''.$$

Er weist aber darauf hin, daß das Produkt linker Hand den Wert $45''$ „wegen der unvermeidlichen Unvollkommenheiten der Fernröhre immer übersteigen" wird.

3. A. Nötzli [**5**, **6**] hat bei seinen Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernrohren auch das Auflösungsvermögen A einer Anzahl solcher Linsenfolgen ermittelt, die bei geodätischen Messungen mit nicht selbstleuchtenden Zielen verwendet werden. Er benutzte Vergrößerungen v von 1 bis 54 und Öffnungen 0 bis 54 mm und arbeitete stets mit einer Austrittspupille von 1 mm; und zwar im Freien bei gleichmäßig bedecktem Himmel, also bei „mittelstarker Beleuchtung". Seine Ergebnisse lassen sich in Bogensekunden näherungsweise durch den Ausdruck [**6.** S. 108 — 111]

$$A = \frac{38{,}5}{v} + 1 = \frac{38{,}5}{0} + 1$$

darstellen; sie gründen sich auf Beobachtungen mit der von S. Stampfer angegebenen Probetafel [4. 7. S. 257], in der er die „letzten noch deutlich wahrnehmbaren Streifen“ aufsuchte.

4. In den Jahren 1919 bis 1928 habe ich im Anschluß an andere Arbeiten [8] für eine größere Anzahl von Fernrohren geodätischer Instrumente der Hildebrand-Werkstätten in Freiberg das Trennungsvermögen festgestellt. Ich benutzte hierbei eine der von G. Bigourdan [9] verwendeten ähnliche Prüftafel [10] mit 25 Gruppen von Strichen; sie wurde in Entfernungen von 10 bis 40 m betrachtet. In jeder Gruppe dieser Tafel ist eine Schar von senkrechten Linien derart angeordnet, daß die Stärke der schwarzen Linie und der benachbarte weiße Abstand gleich groß sind. Dabei wächst die Stärke und damit der weiße Abstand von Gruppe zu Gruppe von 0,24 mm bis 1,41 mm.

Es wurde stets bei möglichst gleichem Sonnenlicht diejenige Gruppe ausgesucht, bei der die einzelnen schwarzen Striche deutlich und scharf begrenzt auf rein weißem Untergrund erschienen. Die Trennung der schwarzen Striche auf grau erscheinendem Untergrund wurde nicht als Auflösung angesehen. Es wurden stets 3 bis 5 Beobachtungen in verschiedenen Entfernungen gemacht.

Die so gefundenen Mittelwerte nebst ihrem mittleren Fehler sind für 17 verschiedene Fernrohre mit einem Durchmesser der Austrittspupille zwischen 1,0 und 1,1 mm in der Tafel 1 zusammengestellt, in der bedeuten: 0 die Öffnung, *F* die Brennweite des Objektivs; *f* die äquivalente Brennweite, $\mathfrak{v}$ die Eigenvergrößerung des Okulars; *v* die Vergrößerung des Fernrohres; *d* den Durchmesser der Austrittspupille; *a* das „Auflösungsvermögen“, d. h. den kleinsten Sehwinkel.

Tafel 1. Fernrohre mit Okularauszug. Okulare: Ramsden- oder orthoskopische.

Nr.	0 mm	*F* mm	*f* mm	$\mathfrak{v}$	*v*	*d* mm	a_i ″
1	20	120	6,7	37,3	17,9	1,1	3,95 ± 0,07
2	20	150	7,5	33,4	20,0	1,0	4,10 ± 0,11
3	20	220	11,3	22,1	19,5	1,0	3,74 ± 0,04
4	25	190	8,0	31,3	23,7	1,1	3,41 ± 0,07
5	25	210	9,0	27,8	23,3	1,1	3,25 ± 0,13
6	25	245	10,0	25,0	24,5	1,0	3,18 ± 0,05
7	25	250	11,3	22,1	22,1	1,1	3,63 ± 0,09
8	27	250	11,0	22,7	24,5	1,1	3,03 ± 0,05
9	27	250	9,0	27,8	27,8	1,0	2,85 ± 0,13
10	27	270	11,3	22,1	23,9	1,1	3,50 ± 0,14
11	28	220	9,0	27,8	24,4	1,1	3,00 ± 0,07
12	29	320	11,3	22,1	28,3	1,0	2,79 ± 0,08
13	30	320	11,3	22,1	28,3	1,1	2,50 ± 0,12
14	32	360	11,3	22,1	31,9	1,0	2,32 ± 0,05
15	35	341	11,0	22,7	31,0	1,1	2,60 ± 0,10
16	36	400	11,3	22,1	35,4	1,0	2,20 ± 0,05
17	40	440	11,3	22,1	39,0	1,0	2,02 ± 0,03
					Mittel	1,05	

Durch besondere Versuchsreihen wurde festgestellt, daß die Wahl eines Ramsden- oder eines orthoskopischen Okulares a_i nicht beeinflußt.

Um die Reihe der a_i in Tafel 1 durch eine einfache Beziehung auszudrücken, zog ich in Tafel 2 gleichartige benachbarte Werte zusammen und errechnete die Konstante c_1 aus

$$v \cdot a_i = c_1 .$$

Tafel 2.

Nr.	v	a_i "	c	a "	$\delta = a - a_i$ "
1	17,9	3,95	70,7	4,31	+ 0,36
3	19,5	3,74	72,9	3,95	+ 0,21
2	20,0	4,10	82,0	3,86	− 0,24
7	22,1	3,63	80,2	3,49	− 0,14
4 5 10	23,6	3,39	80,0	3,27	− 0,12
6 8 11	24,5	3,07	75,2	3,15	+ 0,08
9 12 13	28,1	2,71	76,2	2,74	+ 0,03
15	31,0	2,60	80,6	2,49	− 0,11
14	31,9	2,32	74,0	2,42	+ 0,10
16	35,4	2,20	77,9	2,18	− 0,02
17	39,0	2,02	78,8	1,98	− 0,04

Aus der Tafel 2 hat man

$$c_1 = 77,1 \pm 1,1,$$

und somit, wenn $v = 0$ und $d = 1$ mm,

$$a = \frac{77}{v} = \frac{77}{0}.$$

5. Von meinen gleichartigen Beobachtungen an Fernrohren mit Schaltlinse — ebenfalls aus den Hildebrand-Werkstätten — teile ich einige wenige in Tafel 3 mit.

Tafel 3. Fernrohre mit Schaltlinse. Orthoskopische Okulare.

Nr.	0 mm	v	d mm	a_i "	c	a "	$\delta = a - a_i$ "
1	24	24	1,0	3,22 ± 0,08	77,3	3,27	+ 0,05
2	30	30	1,0	2,38 ± 0,07	71,4	2,62	+ 0,24
3	32	32	1,0	2,62 ± 0,05	83,8	2,45	− 0,17
4	36	36	1,0	2,23 ± 0,09	80,3	2,18	− 0,05
5	40	40	1,0	1,99 ± 0,03	79,6	1,96	− 0,03

Aus der Tafel 3 hat man

$$c_2 = 78,5 \pm 2,1$$

und somit, wenn $v = 0$ und $d = 1$ mm,

$$a = \frac{78}{v} = \frac{78}{0}.$$

Die Konstanten c_1 und c_2 stimmen befriedigend überein. Der kleinste Sehwinkel ist also für Fernrohre mit und ohne Schaltlinse — wenigstens soweit die hier untersuchten Konstruktionen in Frage kommen — etwa gleichgroß.

Beide Beobachtungsreihen werden durch die errechneten Beziehungen, wie die δ nach Größe und Vorzeichen ausweisen, befriedigend dargestellt.

6. Um die Beobachtungen von A. Noetzli mit meinen eigenen vergleichen zu können, habe ich aus ihnen für v zwischen 15,7 und 54 [6. S. 110] in Tafel 4 c_3 abgeleitet.

Aus Tafel 4 hat man für die Messungen von A. Noetzli

$$c_3 = 76,0 \pm 2,5.$$

Tafel 4.

Nr.	v	d mm	a_i "	c	a "	$\delta = a - a_i$ "
1	15,7	1	4,7	73,8	4,84	+ 0,14
2	20	1	4,0	80,0	3,80	− 0,20
3	24	1	3,4	81,6	3,16	− 0,24
4	25,7	1	2,9	74,5	2,96	+ 0,06
5	29	1	3,1	89,9	2,62	− 0,48
6	33	1	2,04	67,4	2,30	+ 0,26
7	36,4	1	1,92	69,9	2,09	+ 0,17
8	37	1	1,92	67,3	2,05	+ 0,23
9	54	1	1,47	79,4	1,41	− 0,06

und damit in überraschender Übereinstimmung mit meinen Beobachtungen für $v = 0$ und $d = 1$ mm

$$a = \frac{76}{v} = \frac{76}{0}.$$

Diese einfache Beziehung stellt diesen Teil der Messungen von A. Noetzli besser dar als seine Ableitung

$$a = \frac{A_1}{v} + 1,$$

worin A_1 „das Auflösungsvermögen von freiem Auge für den betreffenden Beobachter“ ist.

7. Den kleinsten Sehwinkel für meine kurzsichtigen, aber durch Brillengläser ausgeglichenen Augen leitete ich aus je 6 Einzelbeobachtungen ab zu

$$44'',4 \pm 1'',5 \quad \text{und} \quad 43'',4 \pm 1'',4.$$

Das Mittel $\sim 44''$ stimmt sehr gut mit dem von S. Stampfer [**4.** S. 30] ermittelten Wert 45″ überein. A. Noetzli [**6.** S. 110] fand dagegen 38″,5.

8. Zusammenfassend läßt sich sagen, daß man für gut durchgebildete Fernrohre geodätischer Vermessungsinstrumente kleiner und mittlerer Abmessung (freie Objektivöffnung etwa 15 bis 50 mm, Vergrößerung 15- bis 50-fach, Durchmesser der Austrittspupille 1 mm) den kleinsten Sehwinkel a unter den angegebenen Beobachtungsverhältnissen in ausreichender Annäherung erhält aus

$$a = \frac{77}{v}.$$

9. Es ist klar — und S. Stampfer [**4.** S. 32—33] hat selbst darauf hingewiesen —, daß zahlenmäßige Angaben des „Auflösungsvermögens“, die auf dem hier eingeschlagenen Wege gewonnen worden sind, stets nur relative Bedeutung haben, da sie von dem Augenzustand und der Übung des Beobachters, von seiner Auffassung der Auflösung und von der Beleuchtung der Prüftafel, also von veränderlichen Zuständen abhängen. Insbesondere ist es ohne Zwang und sehr willkürliche Annahmen nicht möglich, sie zu einer Errechnung des mittleren Zielfehlers, der dem Geodäten vornehmlich wichtigen Erfassung der Leistung eines Fernrohres, zu verwenden. Trotzdem ist der kleinste Sehwinkel ein brauchbares Maß der Kennzeichnung von Fernrohren.

Angezogene Schriften.

1. H. Erfle, Das Fernrohr. In S. Czapski und O. Eppenstein, Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. 3. Aufl. Leipzig 1924.
2. A. König, Die Fernrohre und Entfernungsmesser. Berlin 1923.

3. H. Erfle, Zur Wirkungsweise der Fernrohre. *Deutsche opt. Wochenschr.* ***5.*** *S. 351—355, 367 bis 369. 1919.*
4. S. Stampfer, Vorschlag einer vergleichenden Prüfungsmethode für Fernröhre. *Jahrb. d. K. K. polytechn. Inst. in Wien* ***19.*** *S. 24—33. 1837.*
5. A. Nötzli, Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernröhren. Zürich 1915.
6. A. Nötzli, Untersuchungen über die Genauigkeit des Zielens mit Fernröhren. *Österreich. Zeitschr. f. Verm.* ***12.*** *S. 102—111. 1914.*
7. F. Hartner, J. Wastler, E. Doležal, Hand- und Lehrbuch der niederen Geodäsie. Bd. I. 1. Hälfte. 10. Aufl. Wien 1910.
8. K. Lüdemann, Die Helligkeit der Fernrohre geodätischer Vermessungsinstrumente. *Allg. Verm.-Nachr.* ***38.*** *S. 361—378. 1926.*
9. G. Bigourdan, *Sur l'épreuve rapide des lunettes d'approche, et particulièrement de celles de petites dimensions. Description d'une mire universelle pour cette épreuve. Compt. rend.* ***160.*** *S. 18—21. 1915.*
10. Mahlke, Eine neue Prüftafel für kleine Fernrohre und Feldstecher. *Deutsche opt. Wochenschr.* ***1.*** *S. 225—227. 1915/16.*

P. L. Guinands Anweisung zum Glasschmelzen.

Übersetzt und herausgegeben

von

Moritz von Rohr in Jena.

(Fortsetzung von S. 453.)

[Ein Mittel, die Fehler des Glases zu erkennen.]

Diese Wellen kann man nur sehen, wenn man eine Glasscheibe so zu einer Linse schleift, daß sie /: 6 bis 9 Fuß [= 2 bis 3 m] :/ 10 bis 12 Fuß [= 3¼ bis 4 m] Brennweite hat. Setzt man eine brennende Kerze in den drei- bis vierfachen Abstand der Brennweite von der Glaslinse und bringt das Auge hinter die Linse ungefähr in die Brennweite, so daß man [48] die Kerzenflamme im Maße der Linsenstärke vergrößert[1]) sieht. Man muß dabei das Auge ein wenig nach den Seiten bewegen, alsdann sieht man in der Linse die Fehler, die einem anders entgehen würden. Ehe ich das Glas auf diese Weise untersuchte, glaubte ich sehr gute Stücke zu haben. Ich habe diese Untersuchungsart erst kennen gelernt, als ich das letzte Mal mit meinem Sohne Aimé in Paris war[2]). Indessen darf man nicht /: Es ließ mich zum Durchrühren des Glases kommen. Ich habe /: 30 Glasschmelzen gemacht und sie verschieden und mit verschiedenen Werkzeugen gerührt. Am /: besten geht es mit einer Tonscheibe an einem Griff zum Halten; man sehe die Zeichnung auf /: Tafel II [iii]. Sie stellt den Hafen und das Rührwerk dar :/ glauben, es sei notwendig, daß alles Glas zur Herstellung farbenfreier Fernröhre bis zu diesem Grade vollkommen sei. Denn ich habe [49] farbenfreie Fernrohrobjektive von großer Güte gemacht, und was ich überdies von meinem Glase an Herrn Rochette, den Pariser Optiker, geschickt habe, so hat er daraus zwei ausgezeichnete farbenfreie Fernrohre gemacht. Ich besitze seinen Brief, und man kann ihn einsehen, er will Glas von mir haben. Will man Fernrohre von 4 oder 5 Zoll [= 11 oder 13½ cm] Durchmesser machen, dann muß allerdings das Glas diese äußerste Probe aushalten. Aber bis jetzt ist noch kein hochbrechendes Glas erschienen, das diesen Grad von Reinheit erreicht hätte. Ich habe ein Stück von 3 Zoll Durchmesser [= 8 cm], das diese Probe aushält. Es kommt oft genug vor, daß zwei Drittel der Glasmasse, wie ich sie durch das Rühren der letzten Art, die ich seinerzeit beschreiben werde, herstelle, aus genügend reinem Glas bestehen, um daraus gewöhnliche farbenfreie Objektive zu machen. Man sehe auf S. 165.

---

[1]) Das ist eine unrichtige Beschreibung: man sieht auf diese Weise die Kerze überhaupt nicht, wohl aber die Linsenfläche erhellt und darin die Schlieren durch die Helligkeitsunterschiede. v. R.

[2]) Wir waren im Juni 1798 in Paris.

[Versuche, das Glas mit Werkzeugen ganz verschiedener Art und unter verschiedenen Hitzegraden durchzurühren.]

Ich muß im folgenden auf die Versuchsreihe zurückkommen, die ich im Hinblick auf das hochbrechende Glas gemacht habe; ich war schon auf S. 47 bei den Rührvorgängen. Ich habe 30 [50] Glasschmelzen in dem großen Hafen gemacht, ich habe künstliche und einfache Rührer aller Art hergestellt, wie ich schon berichtet habe. Ich habe versucht, schneller oder langsamer das Glas zu rühren und bei verschiedenen Hitzegraden, aber das Ergebnis war so ziemlich das gleiche. Wenn man indessen zu langsam rührt, so bekommt man mehr Streifen im Glase[1]). Rührt man das Glas bei geringer Hitze und etwas schnell, so wird das Glas halb durchsichtig. Es sieht aus wie durchscheinendes Porzellan, wenn man aber die Hitze wieder ansteigen läßt, so wird das Glas durchsichtig. Schmelzt man das Glas um, was man 12 bis 15 mal mit dieser Art von Glas tun kann, ohne irgend etwas hinzuzufügen, so nimmt es allerdings eine gelbe, immer ausgesprochenere Farbe an, weil man es öfter umgeschmolzen hat. Wenn man das Glas langsam und bei allen Hitzegraden rührt, so wird es halb durchsichtig, wenn es sich langsam abkühlt; kühlt es sich aber schnell ab [51], so bleibt es durchsichtig. Wenn man es durchrührt, so wird es allerdings nicht halbdurchsichtig, obwohl es eine tiefe Färbung annimmt. Wenn man solch halbdurchsichtiges Glas wieder schmelzt und ihm den genügenden Hitzegrad gibt, so wird es wieder durchsichtig, behält aber seine gelbe Farbe. Alles dies habe ich erlebt, als ich jene 30 Schmelzen ausführte. Ich /: ich könnte wohl Aussagen bis ins kleinste von diesen verschiedenen :/ könnte wohl die Einzelheiten angeben, doch würde das den Bericht zu lang machen und nichts nützen; denn es genügt die Tatsache, daß ich diese Erfahrungen bei jenen 30 Schmelzen gemacht habe[2]). In der gleichen Zeit ist mir noch vieles andere aufgefallen, was weiter unten erwähnt werden soll. Bei den ersten Schmelzen habe ich gesehen, daß sich stets auf dem Hafenboden unverbrauchtes Blei vorfand, und sehr deutlich erkannt, daß dies Blei im Glase reichliche Streifen hervorbrachte und daneben eine unerwünschte gelbe Farbe. Aus dieser Erkenntnis ging ich dazu über, meinen Häfen einen doppelten Boden in der Weise zu geben, daß sich das Blei in dem Raume zwischen beiden Böden lagern könne; die Böden [52] der Häfen waren derart hohl gestaltet, daß das Blei im Mittelteil seines Hafens zusammen- und durch ein dort vorgesehenes kleines Loch abfließen könnte. Aber obwohl sich das [reine] Blei vollständig zwischen den beiden Hafenböden ablagerte, so gingen trotzdem stets Fäden von dem Loch im Hafenboden aus, und das Glas war immer noch gelb. Darauf ging ich dazu über, den Boden meiner Häfen erhaben zu gestalten und innen um den Hafenboden eine Rinne anzulegen. Diese Rinnen oder kleinen Kanäle wurden in den Hafenboden eingearbeitet und überall wieder bedeckt, aber ich machte bis in den Kanal hinein kleine Löcher, wodurch das Blei in den Kanal abfloß. Man kann das auf der Zeichnung der Tafel 2 [ix] sehen. Häfen dieser Art sind die besten. Ein anderer und nicht der geringste Übelstand ist, daß sich der Hafenton sehr stark von dem Glasfluß angreifen läßt, woraus Fäden in reicher Menge entstehen. Sie bilden sich so rasch, daß trotz eifrigstem Rühren der Hafenton ihrer neue schnell genug [53] entstehen läßt, so daß die Geschwindigkeit des Rührens nicht ausreicht, indem sich immer frische bilden, namentlich wenn die Hitze etwas hoch ist. Das brachte mich auf den Plan, den Satz in einem besondern Hafen zu schmelzen und ihn danach in einen anderen Hafen umzugießen, der sich in einem besonderen, neben dem Schmelzofen errichteten Ofen befand. War das Glas in seinem zweiten Hafen und seinem zweiten Ofen, so rührte ich es durch. Ich war der Meinung, das Glas würde diesen Hafen nicht so stark angreifen, namentlich da man zum Rühren die Hitze erniedrigen muß. Außerdem glaubte ich, daß die Oberfläche des neuen Hafens genügend

---

[1]) Weiter unten werde ich angeben, wie man das Glas rühren muß, um vollkommen reines zu erhalten.

[2]) Wenn man das nach Belieben lange durchgerührte Glas nicht wieder schmelzt, ein Verfahren, wobei es, wenn man rührt, klar bleibt; es wird nicht milchig und halbdurchsichtig, wie bei einer Neuschmelzung, sondern bewahrt seine Klarheit, auch wenn man den Haufen sehr langsam abkühlt, mindestens wenn das Alkali und die andern Bestandteile des Satzes sehr rein waren.

geglättet sei, um sich weniger leicht angreifen zu lassen[1]). Schließlich schien es mir, daß der Glasfluß bei der größten Hitze mehr Hinneigung zu dem Hafenton habe und sich mehr Bläschen bilden müßten, wenn man in demselben Hafen rührte. Aber der Ausgang war völlig gegen meine Erwartung, und ich sah ein, daß ich nichts erreichte. Übrigens kostete mir diese Anordnung der Öfen und Häfen ein ganzes Jahr. Das hat mich nicht entmutigt, weil ich immer gute Stücke in der fertigen Glasmasse fand. Aber die Schwierigkeit [54], das reine Glas aus den streifigen Stücken heraus zu erhalten, brachte mich darauf, mein gut durchgerührtes Glas zu gießen. Denn zuvor zerschlug ich meine Glasmasse, um die guten[Stücke unter den schlechten auszulesen, und dabei verlor ich viel gutes Glas, und auch daher kam eine beträchtliche Verminderung der Ausbeute, weil immer viel an den Hafenwänden sitzen blieb.

[Versuche, Glasplatten zu gießen.]

Ich legte daher meinen Ofen so an, daß ich mein Glas in eine Form gießen konnte, wenn ich einen Auslaß an der Seite meines Hafens und nahe an seinem Boden öffnete[2]). Ich hatte alles so gut angeordnet, daß der Glasfluß vollkommen gelang unter den Augen von mehr als 100 Menschen, die sich eingestellt hatten, diesem Glasguß beizuwohnen. Als ich aber das kühl gewordene Glas aus dem Ofen herausnahm, ergab es sich als voller Schlieren. Es war zu einem Quadrat von 2 Fuß [= 0,65 m] und einem Zoll [$2^3/_4$ m] Dicke angelegt und wog 90 Pfund. Als ich meine Spiegelplatte voller Schlieren sah, bildete ich mir ein [55], es sei geschehen, weil das Glas vom Boden des Hafens bis zur Form einen Weg von etwa 2 Fuß [= 0,65 m] hatte zurücklegen müssen; ferner hatte der die Form enthaltende Ofen nicht in einer so großen Hitze gestanden als der Ofen, in dem das Glas vor dem Guß durchgerührt worden war. In dieser Meinung ordnete ich meinen Ofen so an, daß die Spiegelform seitlich vom Hafen und in demselben Ofen stand. Alle diese Einrichtungen kosteten mir viel Zeit. Ich hatte das Ganze in der Art eingerichtet, daß ich, um das Glas in die Form laufen zu lassen, ein Stück Ton in den Hafen senkte. Dieses Tonstück hatte 6 Linien [= $1^1/_3$ cm] weniger im Durchmesser als der Hafen im Lichten und war 2 Zoll [= $5^1/_2$ cm] höher als der innere Hafenraum. Dieser Tonzylinder hatte an seiner Seite von oben nach unten eine Rinne; in ihr stieg der Glasfluß empor, je tiefer man den Zylinder in den Hafen senkte. Als alles gut gerichtet und das Glas wohl durchgerührt war, ließ ich so das Glas [56] in die Spiegelform laufen, was auch gut vonstatten ging, aber das Glas war nicht minder schlierig als im früheren Falle, und das ließ mich auf den Guß des Glases verzichten.

[Senkversuche mit kleinen und großen Glasstücken.]

Ich ging nun anders vor und ließ wie im Anfang meine Schmelzen in dem Hafen kühl werden. Nachher sägte ich den Hafenboden in einer solchen Höhe ab, daß eine Glasschicht am Boden und zwar von etwa 18 Linien [= 4 cm] Höhe abgeschnitten wurde, und schnitt auch oben von der Glasmasse alle anscheinend schlierigen Teile weg. Sodann entfernte ich mit Hilfe eines um seine Achse laufenden eisernen Kreises und mit Sand und Wasser die Seitenteile der Glasmasse ungefähr 7 Linien [= $1^1/_2$ cm] tief von der Hafenwandung weg, so daß die Glasmasse von der Kruste des Hafens frei wurde, wo sich nahe an der Tonhülle, sei es am Boden, sei es an der Seitenwand, die Streifen immer in Mengen finden[3]). Diese Streifen [57] dehnen sich immer etwa 4 bis 5 Linien [= 9 bis 11 mm] von dem Boden und den Wänden des Hafens aus. Regelmäßig liegt an der Oberfläche des Glases eine Verfilzung von Fäden, doch steigt sie nie tiefer hinab als 4 bis 5 Linien, zum mindesten dann nicht, wenn das Glas nach dem Rühren nicht weiter erhitzt wird. Wenn der Rührvorgang zu Ende ist, so sollte man das Feuer sofort ganz ausgehen und

---

[1]) Denn je länger der Glasfluß in dem Hafen bleibt, desto stärker frißt er ihn an, denn der Hafen bietet, angefressen, dem Glasinhalt eine größere Oberfläche dar.

[2]) Ich errichtete einen neuen Ofen westlich von dem noch heute am 26. Dez. 1800 stehenden. Im Jahre 1792 baute ich den Schmelzofen, aus dem ich gießen konnte. Es war eine doppelte Anlage, auf der einen Seite um zu schmelzen, auf der anderen um zu rühren. Mit diesem habe ich meine Versuche mit dem Ausgießen und Neuschmelzen gemacht.

[3]) Hier für diese Versuche errichtete ich eine Mühle am Falle des Doubs, wobei das Wasser die Kreissäge und die Scheiben trieb, womit die großen Glasstücke poliert werden.

also Abkühlung eintreten lassen. Weiter unten werde ich sagen, wie die Glasschmelzung geführt werden muß und wie man zu rühren hat, wenn man sich der besten Mittel bedienen will, die ich bei meinen Versuchen gefunden habe.

[Die Herstellung der Plattenformen.]

Kehren wir nun zu dem freigelegten Glasblock zurück, so wollte ich ihn erweichen, um ihn in eine Form fließen zu lassen. Ich baute also neben dem Schmelz- einen Senkofen, der von den Flammen des erstgenannten geheizt wurde, die in den Senkofen schlugen. Er enthielt eine Form von 2 Fuß [= 0,65 m] Durchmesser und bestand aus Hafenton. Aus ihrem Boden war eine etwa zwei Linien [= $^1/_2$ cm] dicke Lage weißen Sandes ausgebreitet. Um diesen Sand auf den Boden der Form zu bringen, schwemmte ich ihn mit [58] Wasser klar, um ihn dann so auf den Boden der Form gießen zu können, daß er überall in gleicher Höhe stand. Alsdann schob ich die Form in den Schmelzofen und heizte diesen langsam an, bis er die größte Hitze erreichte, die ein solcher ertragen konnte. Danach ließ ich ihn wieder erkalten, und zwar langsam [1]). War er kühl geworden, so schob ich die Form in den Senkofen und den zurecht geschnittenen Block setzte ich mitten in die Form.

[Der Zustand des Glases nach dem Senken und die richtige Art zu senken.]

Alsdann heizte ich den Ofen langsam so lange, bis sich der Glasblock ganz breit auf dem Boden der Form ausgedehnt hatte, und ließ ihn dann kalt werden. Als ich dann die Form mit der Scheibe darin aus dem Ofen zog, war ich sehr erstaunt, das Glas in einem halbdurchsichtigen Zustande wie Porzellan zu finden. Und dabei handelte es sich um Glas der ersten, ganz klaren Schmelze. Danach schob ich es in seinen Ofen zurück, befeuerte es wie vorher und brachte den Wärmegrad sehr viel höher. Das machte das Glas freilich durchsichtig aber auch voller Blasen; denn es hatte lange Zeit einen [59] allzugroßen Hitzegrad auszuhalten. Die späteren Versuche haben mich vollkommen belehrt, und zwar in folgender Weise. Ich legte Glasstücke von 5 und 8 Pfund in Senkformen, die groß genug waren, um sie zu halten, und setzte die so beschickten Senkformen in einen Senkofen. Diesen heizte ich langsam nur so weit an, daß sich die Glasbrocken eben ihren Formen anpaßten. Sobald das geschehen war, brachte ich sie in den Schmelzofen an einen dort dafür bereiteten Ort. Der Ofen war dann unter dem stärksten Feuer, und ich ließ sie darin, bis ich wußte, daß sie diese Hitze angenommen hatten [2]), wozu etwa 12 bis 15 Minuten erforderlich waren. Dann nahm ich sie heraus und brachte sie in einen Kühlofen zu langsamer Erkaltung. Dieser wurde so geheizt, daß er beinahe in Rotbraun glühte, und ich schloß ihn dann ab, damit er langsamer kalt wurde. Denn das muß man namentlich mit großen Glasstücken tun, weil sie sonst beim Kühlvorgang springen. Auf diese Weise erhielt ich sehr durchsichtiges und bläschenfreies Glas, denn es war zur Bildung von Bläschen keine Zeit gewesen, und sie konnten also auch nicht im Glase in die Höhe steigen. Denn der Grund zur Bläschenbildung [60] ist der Umstand, daß das Glas [3]) lange mit dem Sand in Berührung bleibt. Dann hat es Zeit genug, den /: Sand zu schmelzen :/ Anfang mit dem Schmelzen des Sandes zu machen, und das läßt Blasen entstehen. Denn sobald der Sand schmilzt, sondert sich Luft oder Gas ab, und das gibt die Blasen. Wenn sich aber das Glas sehr schnell erhitzen kann, so hat es zum Angreifen und Schmelzen des Sandes nicht Zeit genug. Man muß aber wissen, daß das Glas, namentlich große Stücke, die man senken will, die Wärme sehr langsam annehmen muß, sonst würde es springen. In der langen Zeit, die das Glas [?] braucht um warm zu werden, wird es halbdurchsichtig, während es klar bleiben würde, sobald man es schnell erhitzen könnte. Das haben mir die Versuche mehrere Male gezeigt.

---

[1]) Ich habe viele Versuche angestellt, um Formen zu erhalten, die blasenfreies Glas ergäben, aber das ist mir allein gelungen, wenn ich meine Formen selbst formte und brannte, wie ich es soeben beschrieben habe.

[2]) Und wenn das Glas noch nicht wieder klar geworden ist, so schob ich alles wieder für so lange Zeit in den Ofen, bis die Durchsichtigkeit völlig wieder hergestellt war.

[3]) Unter großer Hitze.

[Beschreibung eines noch heute am 26. Dez. 1800 in meinem Hause stehenden Ofens.]

Als ich meinen in der Art der S. 58 freigelegten Glasblock gesenkt hatte, wurde mein Schmelzofen in einer Weise schadhaft, daß ich ihn neu errichten mußte. Das brachte mich darauf, einen Schmelz-, einen Senk-, einen Kühl- und einen [61] Dörr- oder Frittofen zu bauen. Alle diese Öfen heizte ich mit dem Feuer des Schmelzofens. Man kann die Zeichnungen auf den Tafeln 3 und 4 [ii, iii und iv] betrachten. Tafel 3 [iii] gibt einen senkrechten Schnitt durch den Ofen und 4 [ii] seinen Grundriß[1]). /: Ich werde hier keine weitere Beschreibung dieses Ofens geben, weil er /: mir keinen so guten Dienst geleistet hat wie die andern. Der Schmelzofen war fehlerhaft ange- /: legt; infolgedessen gab er keine genügende Hitze für das Schmelzen :/. Ich habe ihn in der Art errichtet, daß man nach Belieben unter dem Hafen heizen kann oder gar nicht. Dort fand sich eine Feuerstelle, die Hitze unter dem Hafen gab, ohne daß das Feuer in den Ofenraum schlug, wo der Hafen stand. Ich machte die Anlage auf diese Weise in der Absicht, die Heizung unter dem Hafen anzuhalten, sobald die Masse geschmolzen wäre, und nur den Ofen zu beheizen, in dem der Hafen durchgerührt wurde. Ich glaubte, der Hafenboden würde so keine Fäden mehr im Glase aufsteigen lassen, weil das Glas ihn nicht mehr so leicht angreifen würde. Aber trotzdem gab der Hafen immer Fäden ins Glas ab. Ich habe viele Versuche angestellt, um zu erfahren, bei welchem Hitzegrade das Glas den Hafenboden nicht mehr angreifen [62] würde, aber sie haben mir gezeigt, daß das doch bei schwächster Erhitzung auch geschehe.

Wenn das Glas nicht überhaupt hart, sondern erweicht ist, so greift es den Hafenboden an; sobald es sich mit dem Hafenboden verbindet, geht es immer angreifend an ihn heran. Denn wenn man kaltes Glas in einen ebenfalls kalten Hafen tut, den Ofen dann anheizt, so daß das Glas nur eben weich wird, so muß man diese Hitze zwei bis drei Stunden unterhalten, bevor das Glas den Hafenboden wirklich hat angreifen können. Nach drei Stunden sieht man, daß sich das Glas fest mit dem Hafenboden verbunden hat. Das wäre unmöglich, wenn das Glas /: den Hafenboden :/ nicht etwas erweicht hätte. Das Glas war kaum erweicht, denn es bewegte sich nur schwerfällig ein wenig, wenn ich den Hafen kippte, und doch hatten sich die aufsteigenden Fäden bereits gebildet.

[Die Ergebnisse von fünfzehn Schmelzen in diesem Ofen.]

Wir müssen nun auf unsern Ofen von S. 61 zurückkommen[2]). Ich habe darin fünfzehn Glasschmelzen vorgenommen [63] und sie ganz verschieden durchgerührt, sowie ihnen verschiedene Hitze gegeben. Ich nahm das mit der Absicht vor, das wirklich gute Vorgehen zu ermitteln; indessen gaben alle Schmelzen zwar einen großen Teil des Glases klar, aber immer voller Bläschen. Dies waren, so bildete ich mir ein, die ersten Schmelzen, wo allein die Hafenerde dem Glas die Blasen gab, aber darin lag der Grund durchaus nicht, sondern auch darin, daß der Ofen nicht die genügende Hitze hervorbrachte. Ich wurde davon fest überzeugt durch eine Schmelze derselben Zusammensetzung, wie ich sie früher[3]) dafür anzusetzen gewohnt war. Diese Schmelze erhielt nicht genug Hitze, und das Glas blieb blasig, wie das der auf S. 37 beschriebenen. Alle übrigen Schmelzen habe ich mit bereits zusammengeschmolzenem Glase ausgeführt; ich schmelzte stets dasselbe Glas noch einmal und fügte jedesmal ein wenig Satz hinzu, um für den Verlust beim Schmelzen aufzukommen. Dieses Glas wurde bei jeder neuen Schmelzung etwas dunkelfarbiger; bei der Abkühlung wurde es jedesmal halbdurchsichtig und war der Farbe nach topasartig. Es war so undurchsichtig, daß man das gute Glas im [64] Hafen nicht erkennen konnte. /: Und doch haben mir diese /: Glasschmelzen die Stücke geliefert, die ich nach Paris mitgenommen habe. :/ Ich brachte es zur Durchsichtigkeit zurück, indem ich es wieder erweichte nach S. 59[4]).

---

[1]) Die Beschreibung des Ofens ist in dieser Abhandlung auf S. 17 ausgestrichen, doch kann man sie noch lesen.

[2]) Ich habe diesen Ofen 1795 gebaut und dazu den ganzen Sommer gebraucht, da ich allein daran arbeitete.

[3]) Sie war sandreicher, denn es waren 8 Pfund mehr darin als in den andern Schmelzen; das Glas war sehr blasig.

[4]) Ich besitze Aufzeichnungen über die Art und Weise der Ausführung dieser 15 Schmelzen, des Ergebnisses, der Ordnungszahl und des Ausführungstages einer jeden.

/: Die Stücke hatten sechs und einen halben Zoll [= 17 ½ cm], die wir nach Paris mitnahmen, /: und die Herr Caroché anfänglich für gut hielt. Aber er unterwarf sie der auf S. 47 unten ge- /: schilderten Probe und da zeigten sie sich gallertig, was ich wellig nenne. Ich brachte diese /: Stücke wieder mit und :/ ich entschloß mich, sie zu erweichen und sie eine Entfernung von 7 bis 8 Zoll [= 19 bis 22 cm] durchlaufen zu lassen. Denn das Glas war erweicht und konnte sich langsam vorschieben, da eine Unterlage gegen die Wagerechte stark, etwa um 40°, geneigt war. Man sehe die Zeichnungen auf den Tafeln 3_0 und 4 [vii und vi]. Sie stellen die Form und das sich vorschiebende Glas dar /: ich hatte einen dünnen Deckel auf das Glas gelegt :/, dies ist in dem Teile *aa* der Form /: und auch auf dem Teile *bb* der Form lag ein Deckel :/, wohin das Glas laufen sollte. Wollte ich das Glas fließen lassen, so hob ich den Teil [65] *aa* der Form an, so daß sich der andere Teil der Form *b b* auf den Heizboden des Ofens lagerte. Das Glas lief so /: zwischen dem Deckel und dem Formboden :/ in die Form und konnte sich nicht durcheinanderschieben. Die Oberfläche konnte nicht in die Tiefe des Glases hinein vordringen, sie blieb ja immer die Oberfläche, /: das ausgenommen, was am Formboden und am Deckel haften blieb :/. Wenn das Glas so in die Form gelaufen war, so ließ es sich abkühlen in dem zu langsamer Erkaltung errichteten Ofen. Ich habe beide Flächen solcher Stücke poliert und sie der schärfsten Probe unterworfen: sie ergaben sich als ganz rein[1]).

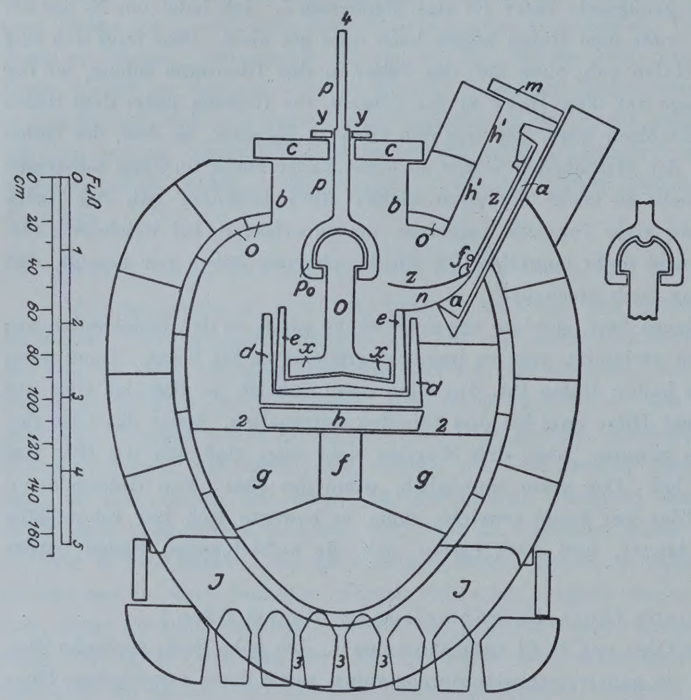


Abb. v. Schwenkbarer Schmelzofen mit Rührwerk.

aa Gießform.
bb obere Ofenöffnung.
cc Eisendeckel.
dd Außenhafen mit einer Versteifungsrippe rechts.
ee Innenhafen.
ff Zylindrisches Tonstück.
f_0 Ring am Formdeckel.
gg Versteifungsrippen.
h Tonplatte als Unterlage für den Außenhafen.
JJ untere Ofenöffnungen.
33 Aschen- und Luftlöcher.
h' Ausgußöffnung im Ofen.
m Deckel dafür.
n Kanal für die auszugießende Glasmasse.
oo Innenfliesen.
pp festklemm- und lösbarer Eisenstab in Tonumkleidung.
p_0 Klemmhaken. (Rechts daneben eine nachträglich aufgegebene Form des Rührerstempels.)
yy engerer Abschlußdeckel.

Hauptsächlich (46 Einschaltung II und 66ff, 76, 103ff, 157, 169, 179ff).

Die Beschreibung eines Schmelzofens zum Ausgießen des Glases durch Schwenkung des Ofens um seine Achse.]

Da ich mein Glas immer noch blasig sah, so entschied ich mich dafür, einen Ofen zu guter Erhitzung zu bauen. Hier ist seine Beschreibung. Im Innern war er nach der Tafel 5 [v] eirund. Ein Maßstab läßt seine Ausmaße erkennen. Er war mit Eisenbändern eingefaßt und alle diese Ringe kreuzten einander in der Achse auf beiden Seiten des Ofens. Dieser Ofen stand aufrecht in der Luft, um sich um seine Achse drehen zu lassen, wie sich eine [66] Kugel auf der Drehbank herumdreht. Die Achse des Ofens war so angelegt, daß der Ofen stets im Gleichgewicht blieb, welche Drehung man ihm auch um Achse seine erteilte. Ich legte ihn so an, um mein Glas in eine im Innern des Ofens angebrachte Form fließen zu lassen Man sieht diese

---

[1]) Aber darunter war ein Glasstück von 6 Zoll [= 16 cm] Durchmesser zwar ohne Fäden, aber gallertig und wellig.

auf der Zeichnung bei *a a*. Mithin braucht man, wenn das Glas in die Form fließen soll, den Ofen nur nach Belieben um seine Achse zu schwenken. Da es nun unmöglich ist, einen Eisenstab[1]) durch die Ofenachse zu schieben, so mußte man genügend starke Eisenplatten vorsehen, mitten durchlocht mit einem Durchmesser von zwanzig Linien [= $4^1/_2$ cm], während die Platte einen Durchmesser von 9 bis 10 Zoll [= 24 bis 27 cm] und eine Dicke in der Mitte von 19 zu 20 Linien [$4^1/_4$ bis $4^1/_2$ cm], am Rande von 6 Linien [$1^1/_3$ cm] hatte. Man bedurfte zweier solcher Platten, je einer für jede Seite des Ofens. Die Plattenmitten standen in der Achse des Ofens und sie wurden stark vernietet [67] da, wo alle Haltebänder des Ofens auf beiden Seiten an den beiden Achsenenden zusammentrafen. Durch die Lager in jeder der beiden Platten ging je ein Zapfen, der auf der andern Seite fest in einer Steinsäule gelagert war. Auf diesen beiden Zapfen drehte sich der Ofen. Die beiden Zapfen waren mindestens 5 Zoll [= $13^1/_2$ cm] lang. Oben im Ofen befand sich eine Öffnung, um dadurch den Hafen einzubringen und herauszuziehen, sie ist durch *bb* angedeutet; sie wurde durch einen auf sie passenden eisengefaßten Deckel *c c* verschlossen. Im Ofeninnern standen ineinander zwei Häfen, der größere *d d* fest im Ofen angebracht und rund herum an den Seiten mit mindestens acht Stützen [Versteifungsrippen] von oben nach unten abgestützt. In ihn hinein setzte man den kleinen Hafen *ee* und füllte den Zwischenraum zwischen den Wandungen gut mit weißem Sand aus. Auch war zwischen den beiden Hafenböden [68] eine Lage von 9 bis 10 Linien [= 20 bis 22 mm] Dicke vorgesehen, während die Seitenwandungen 7 bis 8 Linien [= 16 bis 18 mm] voneinander abstanden. Die Hafenunterlage im Innern des Ofens wurde durch Stützen aus Ton in bestimmten Abständen voneinander rund herum gebildet; sie stemmten sich gegen ein zylindrisches Tonstück *ff*, an dem die Stützen mit *gg* gezeichnet sind; ihrer waren mindestens 8 und sie dehnten sich, wie in der Zeichnung [v] angegeben, von *f* bis 2 aus. Diese Stützen und der innere Tonzylinder *ff* trugen eine Tonplatte *hh* als Unterlage für den großen Hafen. *JJ* sind die Ofenöffnungen[2]). *LL* ist die in dem Ofen angelegte Öffnung, um darin die Form *aa* anzubringen. Diese Öffnung wird durch den Deckel *mm* geschlossen. Mitten in ihm befand sich ein rundes Loch von 8 Zoll [= $21^1/_2$ cm] Durchmesser als [69] Rauchauslaß. *nn* ist ein Kanal für das aus dem Hafen in die Form fließende Glas.

[Die Anlage des Rührwerks für das Glas.]

OOxx ist der Rührer[3]) für das Glas. /: Über die ganze Grundplatte sollte man Löcher von /: einem Zoll [= $2^3/_4$ cm] Durchmesser verteilen und sie von beiden Seiten der Platte aus erweitern. :/ Am oberen Ende des Zylinders befinden sich zwei Haken, in einer solchen Weise angelegt, daß sich der Eisenstempel *ppp* festklemmen kann, wenn er um seine Achse gedreht wird. Dreht man ihn aber in entgegengesetzter Richtung, so müssen sich seine Haken von dem Rührer *OO* lösen. Der Stempel *ppp* hat 12 Linien [= 27 mm] Durchmesser in seinem zylindrischen Teile bis zur Höhe des Deckels; von da genügen 9 Linien [= 2 cm]. Die beiden Haken $p_0\, p_0$ des Eisenstempels sollten etwas massig gehalten werden, da sie der Hitze am meisten ausgesetzt sind. Man muß auch ein Rührwerk dem ähnlich anbringen, wie es bereits vorhanden war an dem Ofen [70], in dem ich die 15 Glasschmelzen ausgeführt habe.

Dieses Rührwerk muß zwei verschiedene Bewegungen machen, einmal den Rührer um seine Achse drehen und ferner ihn in der Glasmasse auf und ab bewegen. Dabei sollen 5 bis 6 ganze Umdrehungen auf eine vollständige Senkung von oben nach unten kommen und ebenso viele bei einer Hebung vom Hafenboden zur Glasoberfläche. Für diese Auf- und Abbewegung dient ein Schwinghebel, den eine Kurbel hinauf- und hinabbewegt. Diese Kurbel kann an einem Drehrad des Werks sitzen und durch einen Schnurlauf wirken, der durch Rollen nach Belieben geleitet werden kann. Um an Ton für die Öfen zu sparen, sollte man [71] den Ofen aus Fliesen bauen und die Außenwand aus Ziegelerde. Die Fliesen sollten neun Zoll [24 cm] dick sein. Oder man

---

[1]) Als Drehachse.

[2]) Die Öffnungen 3 sind Aschen- und Zuglöcher im Ofenboden.

[3]) Die Grundplatte *xx* hat 6 Linien [= $13^1/_2$ mm] weniger im Durchmesser als die lichte Weite des Hafens und zweiundeinhalb Zoll [= 7 cm] Dicke am Rande, auch sollte die Platte ohne Löcher sein.

macht sie aus Hafenton und dann sollten sie 2 oder 3 Zoll [$= 5^1/_2$ oder 8 cm] stark sein. Diese Fliesen braucht man für das Innere des Ofens. Sie sind alle auf der Zeichnung angedeutet, und man sollte sie anbringen wie bei *oo*[1]).

[Der richtige Vorgang beim Schmelzen und Gießen des Glases.]

Geht man nun zur Beschreibung des eigentlichen Schmelzvorganges über, so heizt man zunächst den Ofen ganz langsam an. Dabei öffnet man den Rauchauslaß nur wenig, heizt des Tages und schließt den Ofen des Nachts völlig ab. Das geschieht so während zweier Tage und zweier Nächte, bis der Ofen seine äußerste Hitze erreicht hat. Dann tut man immer 4 bis 5 Pfund Glassatz auf einmal hinein und läßt [72] das 12 bis 15 Minuten schmelzen, ehe man wiederum 4 bis 5 Pfund hineingibt; so muß man den ganzen Glassatz immer in Gaben von 4 bis 5 Pfund hineintun und jedesmal etwa 12 bis 15 Minuten schmelzen lassen, ehe man die nächste Gabe einschüttet. Man darf mit der Füllung durchaus nicht eher beginnen, als bis der Ofen in seiner vollen Glut steht. Dann muß man die Hitze — aber ohne Rauch — während der Beschickung beibehalten und weiter bei diesem höchsten Hitzegrad bleiben, bis das Glas blasenfrei ist, wofür etwa 5 bis 8 Stunden erforderlich sind[2]). Man muß in der ganzen Zeit ab und zu rühren, und für drei bis vier Stunden stündlich das Rührwerk höherstellen. Ist das Glas [73] blasenfrei, so läßt man mit der Hitze nach, indem man das Feuerloch und den Abzug ein wenig schließt. Damit fährt man fort, bis die zum Rühren erforderliche Anstrengung etwa um den dritten Teil größer geworden ist, als sie bei dem schärfsten Feuer war. Alsdann rührt man das Glas so flink wie möglich, muß sich aber hüten, das Rührwerk durch allzu rasches Rühren zu zerbrechen. In dieser Weise rührt man drei bis vier Stunden. Ist das Durchrühren vollendet, so setzt man den Rührer auf den Hafenboden hinunter und läßt das Glas sogleich in die Form laufen[3]). Ist das geschehen, so zieht man die Form mit ihrem Glasinhalt heraus und schiebt sie in einen auf rotbraune Glut geheizten Ofen. Diesen schließt man sofort vollständig ab, damit sich das Glas [74] langsam abkühle[4]). Wenn man beim Abschluß des Rührens ist, so sollte man, mindestens während der letzten halben Stunde, den Rührer nicht auf den Hafenboden aufsetzen, sondern ihn etwa zwei bis höchstens drei Linien [$= 4^1/_2$ bis 7 mm] darüber aufhalten. Die Rührplatte soll sich auch nicht während des Schlußrührens durch vier oder fünf Stunden, weiter als auf ein Viertel ihrer Dicke herausheben. Ihr Durchmesser muß vier bis fünf Linien [= 9 bis 11 mm] kleiner sein als der Innendurchmesser des wohl gerundeten, zylindrischen Hafens. Gießt man das Glas in seine Form, so muß das schnell geschehen, damit sich das Glas nicht in Schichten übereinander lagere, mit anderen Worten, etwa [75] Glas von der Oberfläche in seine Innenteile dringe. Darum muß man es ein wenig in großem Schuß fließen lassen. Überhaupt muß man sich hier, wo es auf das Ergebnis der ganzen Schmelze ankommt, etwas darauf einüben. Sobald das Glas gegossen und aus dem Ofen genommen ist[5]), kann man eine zweite Form in ihn einbringen, eine zweite Schmelze beschicken und ganz wie die erste durchführen. Man kann so Schmelze nach Schmelze ausführen, bis der Rührer versagt. Man kann sogar einen neuen Rührer in den Ofen einführen, aber vorher muß man ihn ganz allmählich auf die stärkste Hitze gebracht haben. Das geschieht in einem besonderen Ofen auf Zeichnung 9

[1]) Man muß an passenden Stellen zwei Auslässe anbringen; sie sollten gerade über den Feuerstellen liegen nnd jede einen Kreisdurchmesser von 8 Zoll [$21^1/_2$ cm] haben.

[2]) Wenn man nicht rührt, so muß der Rührer stets auf dem Hafenboden ruhen; diese Lage muß er haben, wenn man das Glas in die Spiegelform gießt.

[3]) Zu diesem Zweck hebt man den Ofen an oder schwenkt ihn um seine Achse und achtet darauf, daß sich das Glas nicht Schicht auf Schicht in die Form schiebe, sondern auf einmal den Raum der Form erfülle. /: Setzt man einen Deckel auf die Form, dann muß man ihn ein wenig /: anheben, sowie das Glas ausfließt, damit es sich unter dem Deckel vorschieben kann. Man hebt /: den Deckel mit einem Eisendraht an, den man in einen kleinen an dem Deckel angebrachten /: Ring schiebt. Man sehe in der Zeichnung 5 [v] bei *ff* und *z*. :/

[4]) Diesen Ofen sehe man auf Blatt 8 [xiii] gezeichnet.

[5]) Man muß den im Hafen gebliebenen Rest des Glases vollständig entfernen und ebenso das Blei aus der kleinen Rinne im Hafenboden nehmen. Man muß sich gleich für diese Glasreste eine Art Form bereitstellen.

xii], der weiter unten beschrieben werden soll. Er wird auch zum Brennen der Formen dienen, die man in den Schmelzofen bringen will.

Wenn [76] man das wie beschrieben durchgerührte Glas in die Formen laufen lassen will, so muß man den Eisenstab *ppp* lösen, dazu dreht man ihn um seine Achse zurück, um seine Ansätze in der Höhe *oo* des Rührers frei zu bekommen, denn ließe man ihm beim Gießen festgeklammert, so könnte er den Rührer *oo* zerbrechen. Um diesen aber in seiner Lage zu erhalten, schiebt man in den Ofen eine Eisenstange durch Löcher in der Höhe des Hafenrandes. Dieser Eisenstab hat nur den Zweck, den Rührer oben zu stützen, damit er während des Gusses in der auf der Zeichnung dargestellten Lage bleibt[1]).

[Die Gestalt der Gießformen.]

[Eine später gestrichene, ganz kurze Einschaltung.]

/: Was die Glasformen angeht, so kann man sie von größeren oder kleineren Durchmessern /: machen, je nachdem man die Dicke der Scheiben wünscht. :/ Diese Art das Glas zu gießen ist am besten, doch gewinnt man so nur wenig völlig klares Glas, weil sich die Fäden in das gute Glas hineinziehen, so daß es besser ist, wenn man das Glas [76/*o*] in seinem Hafen kühl werden läßt, ihn dann zersägt oder zerschlägt /: Um Glas ganz frei von Fehlern zu haben muß man zu- /: sehen, ob es nicht vorteilhafter ist, es kalt werden zu lassen. :/ und die guten Stücke heraussucht, wie ich es immer getan habe. /: Man wird dann schon sehen, auf welche Weise man den größten /: Ertrag von klarem Glas erhält, und welches das vorteilhafteste Mittel ist. :/ Aber wie man auch die guten Stücke Glas herausbekommt /: so muß man sie wieder erweichen und sie laufen lassen :/, so muß man sie[2]) laufen lassen, um sie klar zu bekommen. Ich will den Ofen beschreiben, in dem man diese Behandlung durchführt, und wie sie angestellt werden müsse.

[Wie das Glas von schwacher Brechung zu machen sei.]

Alle Arten des von Menschenhand geschaffenen Glases, mag es geblasen oder gegossen, von schwacher oder starker Brechung sein, sind mehr oder wenig blättrig. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur eine Spiegelscheibe, gleichgültig ob geblasen oder gegossen, ja auch Fensterscheibenglas, von der Seite anzusehen. Man erkennt dann, daß alle diese Stücke blättrig oder in Lagen gebildet sind, und das [77] schadet den Objektiven, namentlich denen großen Durchmessers, wie sechs Zoll [= 16 cm] oder mehr. Es ist für die Objektive von achtzehn oder zwanzig Linien [4 oder $4^1/_2$ cm] Durchmesser nicht so schlimm, vorausgesetzt, daß die Blättrigkeit nicht allzu groß ist. Diese Eigenschaft erhalten alle diese Glasmassen nur deshalb, weil man sich beim Schmelzen und Blasen dagegen nicht vorsieht, daß die Oberfläche des Glases während der Arbeit in das Glasinnere eindringt. Man braucht nur die Arbeit zu beachten, und man überzeugt sich bald, daß das Glas von der Oberfläche häufig in das aus dem Inneren eindringt[3]). Auf diese Weise kommt es, daß das Glas blättrig wird, indem nämlich das Glas von der Oberfläche in solches vom Innern eindringt [?]. Denn das der Luft ausgesetzte Glas verliert Schmelzsalze, die sich verflüchtigen, und die Luft teilt ihm vielleicht einen Stoff mit, der die Glasoberfläche verändert, so daß, sobald die Oberfläche in [78] das Glasinnere dringt, sie blättrig wird. Es kann nicht gleichartig sein wie das Innere eines Glases, das der Luft nicht ausgesetzt gewesen war. [Einschaltung III] *l*]. Es gibt auch noch eine weitere Ursache für das Blättrigwerden des Glases, wenn man nämlich

---

[1]) Dieser Ofen dient der Herstellung von schwachbrechendem Glase. Er kann auch für solches von starker Brechung verwandt werden. /: denn ich habe bemerkt, daß man auf die eine Weise /: nicht mehr gutes Glas erhält als auf die andere, wenn man starkbrechendes Glas herstellt. Man /: muß das Glas in Formen laufen lassen, die den Scheiben eine Dicke von einem halben Zoll /: [= $1^1/_3$ cm] geben. Damit die guten Stücke umgeschmolzen werden können, um ... zu werden, wie /: auf Seite 64 beschrieben wurde. :/

[2]) wenn sie gallertig sind, eine kleine Strecke weit rinnen lassen.

[3]) Der Glasbläser vergrößert immerwährend den Glasknopf am Ende seiner Pfeife, um genug Glas für das Werkstück zu haben, woran er arbeitet. Jedesmal, wo er seinen Glasknopf in den Hafen taucht, um ihn zu vergrößern, setzt sich eine neue Lage an, und das ist ein Blatt, wie man es im Glase sieht. [Flächenschliere.]

nur Schmelzsalze in den Glassatz tut, so fällt das Glas immer wellig aus, wie gut auch es geschmolzen sein möge. Um sich davon zu überzeugen, braucht man nur bei möglichst starker Hitze zu-schmelzen, das Glas völlig ruhig zu halten und in seinem Hafen erkalten zu lassen. Ist die Glas, masse kalt geworden, so zerschlage man sie und poliere die Bruchstücke an, dann erkennt man daß das Glas voller Wellen ist. Es sieht aus wie eine wildbewegte Seefläche, derart, daß diese, Wellen, wenn man das Glas zur Spiegelherstellung gießt oder Gefäße daraus bläst, sich über- und untereinnader ausdehnen, was das Glas blättrig macht: man muß also notwendig auch dieses Glas durchrühren wie das, in dessen Satz Mennig oder Metallkalk kommt, wenn man es gleichartig haben oder es gießen will. [78 weiter] Es ist unumgänglich notwendig zu verhüten, daß die Oberfläche der Glasmasse in die inneren Teile gelangt, wenn man es gießt. Man sehe S. 91.

Will man das Glas von niedriger Brechung haben, so braucht man nur den Satz von 40 Pfund weißen Sand auf 34 Pfund reines fixes Alkali [54 auf 46 Hundertteile]. Diesen gibt man in einen neuen Hafen, der in den gleichen Schwenkofen kommt, und unterhält das schärfste Feuer, bis das Glas frei von Bläschen ist[1]). Man sollte es rühren, wie das Glas von hoher Brechung aber in hohem Grade. Sobald es bläschenfrei ist, gießt man es in eine solche Form, wie es auf Seite 73 beschrieben wurde. Die Gießform sollte so groß sein, wie es nach Maßgabe [79] der zu erzielenden Spiegeldicke sein sollte. Ist der Guß gut ausgeführt, so hat man sicherlich reines Glas und solches ohne Blätterung.

Glas dieser Art läßt sich nicht senken und gießen wie das Glas von starker Brechung, ebensowenig wie alle anderen Glasarten mit Schmelzsalzen. Denn, wenn man die Hitze sehr allmählich steigern muß, wie das bei den großen Glasstücken notwendig ist, dann ist eben zu fürchten, daß sie zerspringen, wenn die Hitze etwas zu rasch ansteigt. Das Glas zersetzt sich an der Oberfläche, indem sich die Salze verflüchtigen, und es bleibt nichts übrig als der zusammengeschmolzene Sand. Das ist mir öfter als einmal vorgekommen; wenn ich auch nur Glasstücke von sechs Zoll [= 16 cm] Durchmesser und sechs Linien [= $13^1/_2$ mm] Dicke senken wollte, und doch ließ ich die Hitze zu stark wachsen, und die Glasstücke zersprangen[2]). Auf S. 84.

[Beschreibung des Kühlofens für Scheiben.]

/: Hier folge die Anlage eines Kühlofens auf S. 147 [80] für Glasscheiben, nachdem sie gegossen /: sind. Man muß ihn wölben, man sehe die Zeichnung 8 [xiii]. Was die Wölbungen angeht, so /: muß eine jede im Lichten zwei Fuß [= 65 cm] Breite und ebensoviel Tiefe haben und 16 Zoll /: [= 43 cm] Höhe. Ein jeder Ofen muß in der Mitte einen Abzug *oo* haben; aber über der Wöl- /: bung kann man den Rauch durch eine Röhre beliebig ableiten. Jeder Ofen muß einen recht /: gut schließenden Deckel haben. Man braucht 6 Öfen, kann sie aber in 2 Reihen, je einen über /: dem andern, anlegen. Man heizt die Öfen in derselben Weise wie die Öfen mit den Ab- /: zügen[3]).

[: Beschreibung des Ofens zum Heizen und Brennen der Spiegelformen und der Rührer. :]

/: Man sehe auf S. 140. In diesem Ofen sind zwei Gewölbe, das eine das andere umfassend, /: man sehe auf Tafel 9 [xii] bei *aa* das untere. Ein jedes ist 6 Fuß [= 1,94 m] im Lichten lang, /: das untere ist 12 Zoll [= $32^1/_2$ cm] breit und 9 Zoll [=$24^1/_2$ cm] im Lichten hoch. Der Heizboden /: [81] muß in der Höhe des umgebenden Erdbodens sein, wenigstens an einem Ende des Gewölbes,

---

[1]) Man muß die Verschlüsse der Öffnungen um die Hälfte von der Stellung aufziehen, die sie für das Flintglas haben, um einen um die Hälfte höheren Hitzegrad als dafür zu erzielen. Man muß Holz einführen, bis alle Heizöffnungen flammen, denn dieses Glas schmilzt um die Hälfte schwerer als das andre.

[2]) Als Beweis für meine Erklärungen der Blättrigkeit im Glase, wenn die Oberfläche des Glases in das Innere dringt, diene das Folgende: Die Alkali-Bestandteile verflüchtigen sich und das ändert die Brechbarkeit der Oberfläche.

[3]) /: *oo* sind die Abzüge an jedem Ofen. Wenn man heizen will, so muß man immer mit der /: unteren Reihe anfangen. Vor den Reihen der Öfen sollte man eine Leiste anbringen, worauf die /: Deckel ruhen:/

/: dann steigt es gleichmäßig bis zum andern Ende, so daß dieses einen halben Fuß [= 16 cm]
/: höher liegt. Auf dieser Wölbung legt man den Heizboden der anderen an, und zwar soll er
/: 18 Zoll [$^1/_2$ m] über dem Heizboden des ersten Gewölbes liegen. Über diesem zweiten Heizboden
/: führt man ein Gewölbe von zwei und einem halben Fuß [= 81 cm] Breite und 2 Fuß [= 65 cm]
/: Höhe auf. Seine Länge ist so wie die des unteren. Die Innenräume der Gewölbe stehen an
/: ihrem Ende miteinander in Verbindung, da nämlich, wo der Heizboden des unteren seinen
/: höchsten Punkt erreicht. Von dieser Verbindung abgesehen, werden die Öffnungen der Gewölbe
/: geschlossen, auch das andere Ende des oberen; aber das äußere Ende des unteren *ag* ist offen,
/: damit man dort das Feuer mache, dessen Gase in dem Gewölbe hinauflaufen, [82] und von dort
/: durch die Verbindung zwischen beiden Gewölben schlagen die Flammen gegen das geschlossene
/: Ende des oberen Gewölbes, das natürlich über dem ersten *ag* steht. In diesen Abschluß des
/: oberen Gewölbes muß man eine Öffnung für die Glasformen einarbeiten, die auf diesem Wege
/: in das Gewölbe oder richtiger den Ofen geschoben werden. Diese Öffnung sollte zwei Fuß 6 Zoll
/: [= 81 cm] breit sein; man muß dort eine Heizfläche auf Säulen vorsehen von 4 Zoll [= 11 cm]
/: Höhe, wie bei *cc* zu sehen. Auf diese Heizfläche setzt man also die Glasformen, damit die Flammen
/: von unten gegen die zweite Heizfläche schlagen und die Formen von unten erhitzen können.
/: Diese Heizfläche geht quer durch das obere Gewölbe, aber erreicht den Ausgang nicht, sondern
/: bleibt 6 Zoll [= 16 cm] davon ab. Dieser Boden wird 28 Zoll [= $^3/_4$ m] lang, so daß die Unter-
/: seite der Öffnung in der Höhe der Oberfläche dieses Bodens liegt. Die Dicke des Bodens sollte
/: [83] 3 Zoll [= 8 cm] betragen. Die Höhe der Öffnung sei im Lichten von der Bodenfläche 6 Zoll
/: [= 16 cm] ganz gleichmäßig entfernt. Oben ist die Öffnung bogenförmig gestaltet, denn dort
/: bringt man einen Deckel an, um sie nach Belieben zu schließen. Oben auf der Wölbung, gerade
/: über dem zweiten Boden, auf dem die Formen stehen, legt man eine runde Öffnung *ee* an, und
/: dort bringt man die Rührer ein und aus. Sie werden ebenfalls auf diesen Heizboden gesetzt,
/: um sie zu brennen, ehe man sie in den Schmelzofen einführt. Die Öffnung soll einen Fuß
/: [= 32$^1/_2$ cm] im Durchmesser haben, und man setzt einen Deckel *dd* darauf, sie dient als Abzug
/: für den Ofen[1]). Will man eine Form oder einen Rührer brennen, so bringt man sie in den kalten
/: Ofen der Zeichnung 9 [xii], öffnet den Abzug ein wenig und heizt die Feuerstelle *ag* des Ofens etwas
/: an, der sich an die [84] erste Feueröffnung des unteren Gewölbes anschließt. Allmählich steigert
/: man das Feuer bis zum höchsten Grade. Man muß aber alles abpassen, daß man dazu erst
/: nach Ausführung das Gusses kommt, wenn man die Form einsetzen will oder den Rührer zur
/: Verwendung im Schmelzofen braucht. :/

Beschreibung eines Senkofens für gute Stücke von Glas hoher Brechung[2]).

Da gelegentlich mein Ofen, auf den Zeichnungen 3, 4, 5 [ii, iii, iv] dargestellt, zum Schmelzen keine genügende Hitze gibt, so muß man den Hafen *nn*, die Kanäle *qq* auf der dritten Zeichnung und außerdem den Rührer *xx* entfernen und an ihre Stelle die auf der ersten Zeichnung der Tafel 4_0 [vi] dargestellte Wippe setzen. Dabei stellt *aa* das Innere des Ofens der Tafel 3 [iii] dar; *bb* auf Tafel 4_0 ist die Heizfläche des Ofens; *pp* auf Tafel 3 [iii] liegt unter der Heizfläche. Man [85] muß Raum schaffen für die Wippe *cc* auf Tafel 4_0 [vi]; sie wird nach dem darunter angegebenen Maßstab gebaut. Ihre Breite läßt sich der Zeichnung nicht entnehmen, sollte aber 15 Zoll [= 40 cm] betragen. Auf diese Wippe schiebt man die Formen, eine nach der andern. Sie enthalten das zu senkende Glas. Eine der Formen /: und ihr Glasstück :/ ist in *dd* dargestellt, ebenfalls auf der ersten Zeichnung der Tafel 4_0 [vi], und *ee* ist das Glasstück auf ihrem Boden. *ff* /: sind Deckel :/ ist ein Deckel, der mit einem Ende auf dem Glasstück und mit dem andern auf dem Boden der Form ruht. *gg* ist ein anderer Deckel, der auf den Boden der Form gelegt ist, wohin sich später das erweichte Glas ausdehnen soll. Dieser Deckel muß eine Kröpfleiste haben, die auf den andern

---

[1]) /: Man errichte 4 Mauern *ee*, die ein Quadrat *ff* umschließen; eingedeckt wird es mit
/: Fliesen, die auf Eisenstangen *gg* ruhen. Dieser Raum wird mit eisernen Türen verschlossen. Man
/: bringt das Holz zum Trocknen hinein. Dieses Viereck oder dieser Ofen sollte 3$^1/_2$ Fuß [= 1,14 m]
/: Tiefe haben, doch darf er nicht die Öffnung *cc* verstellen. :/

[2]) /: Dies alles bis zu Seite 91 muß noch einmal gemacht werden. Randbem. :/

Deckel *ff* übergreift. Das hat den Zweck, daß [86], wenn das Glas ins Fließen kommt, der Deckel [*ff*] den *gg* hebt, so daß sich das Glas unter ihm ausdehnen kann[1]). An dem Deckel *gg* muß man in der Mitte einen Knopf anbringen. Ferner stoßen zwei Streben mit einem ihrer Enden an diesen mittleren Knopf, während sich die beiden anderen gegen den Rand der Form legen. Die Streben sind mit *hh* bezeichnet, und man sieht sie auf beiden Zeichnungen der Tafel 4_0 [vi]. Diese beiden Streben sollen verhindern, daß der Deckel *gg* irgendwo den Rand der Form berühre, denn ohne sie würde das flüssig werdende Glas die Deckel gegen die Formwand gegenüber dem Glasstück *ee* drücken und damit den Deckel *gg* hindern, sich zu heben und das Glas unter seiner Fläche in die Form fließen zu lassen. Die beiden Deckel stoßen, wie man bei *jj* auf der zweiten Zeichnung der gleichen Tafel sieht, an einer Geraden zusammen. Die Form *dd* ist da, wo der Glasbrocken [87] *ee* zu liegen kommt, entsprechend *mm* breit. *nn* ist ein eiserner Griff, um die Wippe *cc* zu betätigen; er ragt aus einem Schlitz in der Seitenwand des Ofens heraus. Man erkennt, daß das Glas *ee*, sobald man die Seite der Wippe mit dem Griff hebt, so daß die Fläche *oo* die Heizfläche *pp* berührt, da bleibt, wo es ist, selbst dann, wenn es erweicht ist. Drückt man den Griff hinunter, so läuft das Glas /: in die Form :/ unter den Deckel *gg*. Der Ofen *y'y'* auf den Tafeln 3, 4 und 5 [ii, iii, iv] nimmt die Formen mit ihren Glasstücken auf, und sie bleiben dort, bis die Erweichung des Glases beginnt. Alsdann muß man sie aus dem Ofen *aa*, ebenfalls auf Tafel 3 [ii], schieben, und zwar auf die Wippe *cc*, die sich dann in dem Ofen, auf Tafel 3 [*ii*], befindet. Und zwar [88 fehlt, 89] stößt man sie einfach durch das Verbindungsstück *zz* beider Öfen. Man schiebt dann eine nach der andern auf die Wippe. Sobald man eine Form auf ihr hat, hebt man den Griff *nn* an, um zu verhindern,

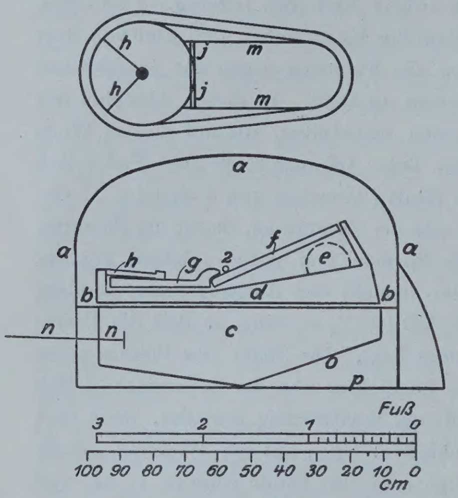


Abb. vi. Wippe zum Senken brauchbarer Glasstücke in Platten.

aa Ofenwölbung von ii und iii.
bb Standfläche für die Plattform.
c Wippe.
d Plattenform.
e Glasstück zum Senken.
f Deckel für das Glasstück (auch oben rechts im Grundriß).
2 Ring zum Anheben.
g Deckel für die zu gewinnende kreisrunde Platte (auch oben links im Grundriß).
h Streben (auch oben im Grundriß).
j (im Grundriß gelenkte Verbindung beider Deckel).
mm s. unter *f*.
nn eiserner Griff zur Betätigung der Wippe.
o Grundfläche der Wippe beim Erweichen von *e*.
p Heizfläche des Ofens von iii.
Hauptsächlich (64 auch 85 ff, 103, 163).

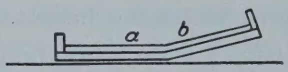


Abb. vii. Kleine Wippe zum Senken von Platten.
Auch erwähnt auf (S. 64, 163).

daß das Glas unter den Deckel *gg* laufe. Sobald aber das Glas die Hitze angenommen hat, die der Ofen schon zeigt, drückt man den Griff *nn* nieder, um das Glas unter den Deckel laufen zu lassen. Man muß /: sich Mühe geben, herauszubekommen, welches der beste Hitzegrad ist, um das /: Glas unter den Deckel laufen zu lassen. Ebenso muß man kennen lernen, ob es not tut, :/ das einigermaßen /: langsam oder :/ plötzlich vornehmen. Sobald sich das Glas aber unter dem Deckel *gg* befindet, muß man die Form mit ihrem Glasinhalt herausziehen und in einen der langsam wirkenden Kühlöfen schieben[2]). Sogleich stößt man eine weitere Form immer durch die Verbindung *zz* aus dem Ofen *y'y'* [90] immer auf die Wippe *cc*, und behandelt sie wie vorstehend. So geht man mit

[1]) Die Deckel sollen sich immer auf dem Boden der Form berühren, doch will man das Glas fließen lassen, so muß der Deckel 6 bis 7 Linien [13—16 mm] über den Boden gehoben werden. Um das zu tun, /: sollte man kleine Stützleisten aus gebranntem Ton an der Seite der Form anbringen :/ steckt man einen Eisendraht oder ein Eisenstäbchen in den mit 2 bezeichneten Ring.

[2]) Denn läßt man es länger in der Hitze, so wird es blasig, weil es in diesem Ofen viel Hitze in sich aufnimmt, wie auf Seite 96 beschrieben. Man bringt es daher in einen der Kühlöfen von Zeichnung 8 [*xiii*]. Dieser Ofen ist nach der Angabe auf Seite 149 zu beheizen.

den weiteren Formen bis zur letzten vor. Will man mit dem Senken beginnen, so füllt man den Ofen $y'y'$ mit Formen, die ihre Glasstücke tragen, schließt den Ofen und heizt ihn langsam ansteigend so lange, bis das Glas an der heißesten Stelle des Ofens $y'y'$ beginnt, sich, wie gesagt, auf der Form auszudehnen[1]). Um die Öfen zu heizen, muß man das Feuer an dem Ofenloch an der Südseite des ursprünglichen Schmelzofens anlegen, wo die Wippe *cc* angebracht werden soll. Dieser Ofen gibt nur gerade genug Hitze, denn ich habe darin mehr als 50 Brocken Glas erweicht, aber ohne Wippe[2]). Ich ließ sie nicht auslaufen, als [91] sie weich geworden waren, denn damals wußte ich noch nicht, daß man sie eine Strecke Wegs durchlaufen lassen müßte, nachdem die flüssig geworden seien, um ihnen ihre Wellen zu nehmen, die nur bei schärfster Probe, wie auf Seite 47 beschrieben, erscheinen.

[Die Deckel auf dem zu senkenden Glase machen es sicher vollkommen klar.]

Hier seien die Gründe dafür angegeben, washalb man Deckel auf die zu erweichenden Glasstücke legt. Man verhindert damit, daß die Oberflächenschicht des Glases in seine tieferen Schichten dringt. Denn da die Glasoberfläche immer in Berührung mit dem Deckel ist, so fließt sie nicht; vielmehr bewegt sich das Glas unmittelbar unter der Oberfläche viel langsamer als die Schichten in der Mitte, die um so rascher fließen, je näher sie der Mitte des Glases sind. Die Schichten am Boden der Form werden ebenfalls und auch die ihnen naheliegenden gehemmt, ganz ähnlich wie die unterhalb des Deckels. [?] Die über ihnen liegenden fließen um so rascher, je näher sie der Mitte des Glasstückes sind [92]. Denn es versteht sich von selbst, daß die mittleren Schichten rascher fließen müssen als die nahe dem Boden der Form und dem Deckel. Ja es kommt sogar vor, daß beim Fließen des Glases sich die zuerst austretenden mittleren Schichten an dem Formboden und dem Deckel anlegen. Das Glas wird gleichartig, wenn es auf diese Weise eine etwas längere Strecke durchfließt, weil sich eine Schicht auf die andere schiebt, ohne daß jemals Glas von der Oberfläche in das Innere dringt; auf diese Weise rührt es sich selbst durch[3]). Rührt man das Glas durch mit irgendeinem Werkzeug, welcher Art es auch sei und woraus es auch bestehe, so gibt dies stets etwas an das Glas ab, das seinerseits es angreift. [93] Hier liegt der Grund, warum man kein völlig und überall klares Glas haben kann, wenn man mit einem Rührer rührt. Selbst wenn ein solcher vom Glase nicht angegriffen werden könnte, so würden dennoch nicht die beiden von dem zwischen sie gedrängten Rührer getrennten Glasteile nach ihrer Vereinigung ein so gleichartiges Glas ergeben, wie es sein könnte, wenn sie überhaupt nicht getrennt worden wären. Zum Beweise stelle man sich blättriges Glas vor: die Schichten berühren sich durchaus, und man kann zwischen ihnen nichts anderes als Glas sehen. Und doch muß dort etwas sein, das diese Schichten im Glase erkennen läßt, eine über der andern. Das kann nichts anderes sein als die Verschiedenheiten der Brechung, die zwischen den Schichten besteht und sie uns zeigt, eine über der anderen. Das Glas kann blättrig werden, ohne daß dabei die Einwirkung der Luft in Frage kommen kann, und zwar in folgender Weise. Das geschieht dann, wenn sich einige Stellen im Glase [94] in ungleicher Erhitzung befinden. Der Teil des Glases, der die geringste Wärme hat, ist infolgedessen bereits zusammengeschrumpft, während sich das ihn umgebende Glas infolge seiner Erhitzung noch in starker Ausdehnung befindet. Wenn sich das so zuträgt bei Glas in Scheibenform, sei es, daß man es geblasen oder mit einem Roller auf einer Tischfläche ausgewalzt hat — das macht man bei gegossenem Glase —, so wird das Glas blättrig. Und das geschähe nicht, wenn das Glas überall denselben Hitzegrad besäße. Und aus diesem Grunde auch muß man darauf achten, daß das Glas, die Form und der Deckel alle genau die gleiche Hitze haben, sei es, daß

[1]) Alsdann muß man die Form auf die Wippe *cc* schieben.

[2]) Dieser Ofen muß übrigens Hitze genug geben, um Glas zu schmelzen, und man sollte ihn nicht eher mit Glas zur beginnenden Erweichung beschicken, als bis der andere Ofen in höchster Glut ist.

[3]) ... ohne sich zu blättern. Die Schwierigkeit dabei ist aber die, daß die Deckel stets die Ursache sind, weshalb das Glas bei der Abkühlung springt. Legt man keinen Deckel auf, so springt es nicht. Diese Art, das Glas fließen zu lassen, ist nur gut für Glas ohne Fäden; sie ist nur gut für welliges Glas.

man Glasstücke erweicht, oder daß man Glas [95] aus den Häfen, wo es geschmolzen ist, in die Spiegelformen auslaufen läßt.

Man muß aber, wenn man Glas auf die eine oder die andere Weise gießt, noch auf anderes achten. Man muß es rasch ausfließen lassen, denn wenn man es zu langsam gießt, so kann es deshalb blättrig werden, so können sich Glasteile vom Boden oder vom Deckel der Form loslösen und in die inneren Schichten des Glases gelangen, und das ist schädlich. Gießt man es zu plötzlich, d. h. allzu rasch, so mischt es sich nicht so gut, /: und es kann die Masse Teilchen von dem /: Hafenboden oder dem Deckel aufnehmen und so infolge seiner übergroßen Geschwindigkeit blättrig /: werden. Denn wenn man das Glas zu rasch ausgießt, so zerstört man den Zusammenhang der /: Glasmasse, was auch geschieht, wenn man das Glas zu plötzlich rührt und bei einem etwas zu /: niedrigen Hitzegrade. Alsdann wird das Glas milchig und halbdurchsichtig, und das ist mir vor- /: gekommen jedesmal, wenn ich das Glas zu plötzlich rührte und bei einem etwas geringen Hitze- /: grade [96]. Dasselbe ereignet sich, wenn man das Glas zu plötzlich ausfließen läßt und bei einem /: zu geringen Hitzegrade, zwar nicht mit solcher Regelmäßigkeit wie beim Rühren, aber schädlich /: ist es doch in hohem Maße. :/ Überhaupt muß man auf das Werk seiner Hände Obacht haben, um die guten Verfahrungsweisen kennen zu lernen, denn diese kann man nicht genau beschreiben; es ist Sache des Schmelzers, aus seinen Versuchen zu lernen. Man kann wohl sagen, was geschieht, wenn man auf dieser Seite zu viel und auf der andern zu wenig tut, aber erst die Erfahrung spricht Recht. (Fortsetzung folgt.)

Bücherbesprechungen.

W. Wien und **F. Harms**, Handbuch der Experimentalphysik, Bd. **21**. 8°. XIII, 562 S. m. 164 Abb. Leipzig 1927, Akadem. Verlagsges. m. b. H. Geb. 49 RM.

Der vorliegende Band des Wien-Harms'schen Handbuches der Experimentalphysik enthält in drei Abschnitten die beiden jüngsten Zweige der Spektroskopie, die jedoch bereits einen ansehnlichen Umfang erlangt haben, die Anregung der Spektrallinien und den Starkeffekt, und ferner die Hilfsmittel des Spektroskopikers, die spektroskopischen Apparate.

Die Anregung der Spektren behandelt G. Joos auf S. 1—202. Bei der Mannigfaltigkeit der Erscheinungen und dem schier unübersehbaren Tatsachenmaterial eines jeden Teilgebietes der Spektroskopie ist eine Theorie zur Ordnung der Tatsachen notwendig und zum Aufsuchen neuer Erscheinungen nützlich. Diesen beiden Forderungen genügt die Bohrsche Theorie des Atombaus und der Spektrallinien. Trotz mehrfacher Schwierigkeiten und Bedenken, die ihr gegenüberstehen, hat sie sofort viel Anklang gefunden, so daß die Spektroskopie und die Erforschung des Aufbaus der Materie einen außerordentlichen Aufschwung genommen hat. Daher ist es zweifellos gerechtfertigt, daß in einem Handbuch der Experimentalphysik die 60 Seiten des 1. Kapitels fast nur Theoretisches bringen. Es werden die Grundgedanken der Theorien und Rechnungen und die Hypothesen zur Beseitigung gewisser Schwierigkeiten von Bohr bis Heisenberg und Schrödinger und die Ergebnisse der Rechnungen übersichtlich zusammengefaßt. Gerade dem Experimentalphysiker dürfte diese Übersicht sehr willkommen sein. Das zweite Kapitel enthält das experimentelle Material der Anregungsversuche in Emission und Absorption durch Elektronenstoß, den Stoß geladener und ungeladener Atome, ferner die Anregung durch Resonanz und Fluoreszenz und durch Stöße zweiter Art. Das dritte Kapitel (S. 137—164) bringt Theoretisches und Experimentelles zur Frage der Breite und Verbreiterung der Spektrallinien, der Leuchtdauer der Atome, der Lebenszeit der angeregten Zustände, der Selbstumkehr und der Linienverschiebung. Das letzte Kapitel endlich gibt eine sehr dankenswerte Zusammenstellung der mannigfaltigen, in der Literatur zerstreuten und oft schwer auffindbaren Lichtquellen, die den verschiedenen spektroskopischen Zwecken dienen.

Den zweiten Abschnitt (S. 205—396) hat E. von Angerer bearbeitet. Zunächst werden Spalt, Prismen und Linsen für sich und dann die verschiedenen Typen von Spektralapparaten beschrieben. Hieran schließen sich die Gitterspektoskope an: das Herstellen, Kopieren und Prüfen von Gittern, ihre Aufstellung und Justierung, die Verwendung von Lichtfiltern, das Auflösungsvermögen und die Lichtstärke der Gitter. Die Theorie der Beugungsgitter und der sog. Geister entstammt der

Feder von G. Joos. Das dritte Kapitel enthält die Beschreibung und Anwendung der Interferenzspektroskope von Michelson, Lummer-Gehrcke, Fabry-Perot. Das letzte Kapitel bringt das Wissenswerte über Wellenlängenmessungen, die visuellen, photographischen und elektrischen Beobachtungsmethoden und die erst in neuerer Zeit in ihrer Wichtigkeit erkannte photographische Spektralphotometrie. Der Verf. gibt in ausgezeichneter Weise überall die manchmal nebensächlich erscheinenden, dafür aber um so wichtigeren kleinen Kunstgriffe und Hinweise, die es dem auf den verschiedenen spektroskopischen Gebieten weniger Erfahrenen ermöglichen, sich in kurzer Zeit einzuarbeiten.

Der dritte Abschnitt (S. 399—548) enthält den Stark-Effekt, die Wirkung des elektrischen Feldes auf Spektrallinien, aus der Feder des Entdeckers dieses von vielen Physikern vergeblich gesuchten Effektes. So sehr auch Joh. Stark die Leistung der Bohrschen Quantentheorie der Emission der Serienlinien in systematischer und heuristischer Hinsicht anerkennt, so lehnt er doch in Übereinstimmung mit W. Wien und anderen die Grundlagen dieser Theorie ab, da gewisse Voraussetzungen, auf die sie gegründet ist, der bisherigen physikalischen Denkweise widersprechen. Daß der Verfasser aus den Ergebnissen der Erfahrung, aus eigenen Vorstellungen sowie aus den Theorien Bohrs und Schrödingers ein anschauliches Bild von der Emission der Spektrallinien zu gewinnen und neue Gesichtspunkte für die Deutung der Beobachtungen zu erlangen sucht, dürfte jedem unvoreingenommenen Spektroskopiker einleuchtend sein; die anschauliche Theorie des Verf. läßt erkennen, daß die oft als feststehende Tatsache behandelte Meinung über die Träger der Spektrallinien und die Art der Lichtemission noch nicht so hinreichend durch die experimentelle Forschung gestützt ist, wie es für diese wichtige Frage wünschenswert wäre. In der Einleitung wird die theoretische Anschauung des Verf. und eine kurze Kennzeichnung der Serien entwickelt. Dann folgen die verschiedenen Methoden der Untersuchung des Längs- und Quereffekts in Kanalstrahlröhren, in der Kathodenschicht (Lo Surdo), bei der Absorption, im Lichtbogen; daran schließt sich eine kurze Übersicht über die zur Untersuchung geeigneten optischen Hilfsmittel. Ausführlich wird die Wirkung des elektrischen Feldes auf das Serien- und Bandenspektrum des Wasserstoffs beschrieben, an dem s. Z. zum erstenmal der Effekt beobachtet worden war. Nach allgemeinen Bemerkungen über den Effekt bei andern Elementen werden die bisher an 23 Elementen gemachten experimentellen Untersuchungen mitgeteilt. Hierauf werden die Gesetze dargelegt, die sich bezüglich des Verhaltens der Serien, insbesondere der wasserstoffähnlichen Serien haben aufstellen lassen. Hieran schließen sich Betrachtungen über die Elektronenbahnen und die ordnende und koppelnde Wirkung des elektrischen Feldes auf die Träger der Emission. Das folgende Kapitel bringt den Wienschen Versuch, den molelektrischen Einfluß auf die Verbreiterung und Verschiebung der Spektrallinien, die Erklärung des Poleffektes am Lichtbogen, die im elektrischen Felde beobachtete Doppelbrechung am Rande der D_2-Linie, den räumlichen Verlauf der Feldstärke vor der Kathode der Glimmentladung und einige theoretische Betrachtungen.

Sach- und Namenregister bilden den Abschluß des für jeden Spektroskopiker überaus wertvollen Bandes, der sich nicht nur durch die gute Ausstattung, sondern auch durch die klare und flüssige Darstellung in allen seinen Teilen auszeichnet. *L. J.*

W. E. Hughes, Modernes elektrolytisches Überziehen. Ein Handbuch für Werkmeister und Ingenieure. Übersetzt von M. Keinert. Leipzig 1927, Akad. Verlagsgesellschaft m. b. H. 8°. VII, 229 S. m. 30 Abb. u. 14 Tafeln. Geb. 15 RM.

Das Buch, als Werkstatthandbuch gedacht, stellt sich die Aufgabe, die in der Technik gebräuchlichen elektrolytischen Niederschlagsverfahren zusammenzufassen. Es beschränkt sich bewußt auf nicht edle Metalle, behandelt aber sonst sämtliche, die in der Technik elektrolytisch niedergeschlagen werden, sei es zum Zwecke des Oberflächenschutzes oder der Oberflächendekoration, sei es als Hilfsmittel zu einer sonst nicht zweckmäßigen oder nicht geeigneten Oberflächenbearbeitung oder zur Herstellung einer Grundlage für weitere elektrolytische Niederschläge.

Nach einem das Stoffgebiet umreißenden allgemeinen Überblick gibt der Verfasser eine kurze Theorie der elektrolytischen Gesetze. Dabei stellt er die Gesichtspunkte in den Vordergrund, die für die rationelle Anwendung der elektrolytischen Verfahren in der Praxis maßgebend sind. Besonders weist er darauf hin, daß heute der Augenschein allein nicht ausreicht, die Güte des Erfolgs

zu beurteilen, daß vielmehr das Mikroskop als Hilfsmittel bei der Prüfung der Ergebnisse nicht entbehrt werden kann. Die beigegebenen Mikrophotographien von Niederschlagsstrukturen erhärten diese Ansicht des Verfassers zur Genüge. Ebenso kommt den dann folgenden Ausführungen über die Herrichtung des Werkstückes für den elektrolytischen Prozeß und den Anweisungen für die Praxis des Niederschlagsprozesses und die Nachbehandlung des Niederschlages allgemeine Bedeutung zu.

Im einzelnen werden: Eisen, Nickel, Zink, Blei, Zinn, Chrom und Kupfer als elektrolytisch niederzuschlagende Metalle behandelt. Eingehende Würdigung finden dabei die Vorzüge und Nachteile der einzelnen Verfahren und der verschiedenen zur Anwendung kommenden Lösungen.

Die tabellarischen Übersichten, z. B. über Fehler, deren Entstehung und Verhütung bzw. Beseitigung, über Prüfmethoden, die Tabellen über die für das betrachtete Gebiet wichtigsten physikalisch-chemischen Konstanten, die unzähligen praktischen Winke, die sich in den Text eingestreut finden und die sehr zahlreichen Literaturnachweise erhöhen den Wert des Buches als Handbuch ganz besonders.

In einem ausführlichen Nachtrag hat der Verfasser noch dem Stand der Entwicklung bis zu Anfang des Jahres 1927 Rechnung getragen.

Das Buch ist im Original in englischer Sprache erschienen; diese Tatsache ist der Übersetzung erfreulicherweise aber nur an einigen Stellen an der dort allerdings etwas verunglückten Ausdrucksweise anzumerken. *W. Keil.*

Jenaer Glaswerk Schott & Gen. Liste 4213. Jenaer Farb-und Filtergläser für Wissenschaft und Technik.

Das vorliegende Heft enthält eine außerordentlich reichhaltige Zusammenstellung der Absorptionseigenschaften gewisser Jenaer Gläser, welche sich zu Lichtfiltern eignen. Die Messungen wurden in den Laboratorien der Firma Schott & Gen., Jena ausgeführt. Die Absorptionsmessungen wurden im Ultraviolett mit einem Quarzspektralphotometer, im sichtbaren Gebiet durch ein Glansches Photometer und im Ultrarot mit Hilfe einer Thermosäule und eines Spiegelspektrometers der Firma Zeiss in der üblichen Weise gemessen. Die Resultate sind in einer Reihe von Tabellen und besonders anschaulich in Durchlässigkeitskurven dargestellt. Sie beginnen mit Gläsern, die in erster Linie ultraviolettes Licht in der Gegend von 340—370 mμ durchlassen, dagegen im sichtbaren Gebiet stark absorbieren. Es sind dies also Gläser, die sich als Ultraviolett-Filter eignen. Dem gegenüber stehen Glassorten, wie z. B. das Glas B. G. 10, deren Durchlässigkeit vorwiegend im sichtbaren Gebiet liegt, während Ultraviolett und Ultrarot sehr stark absorbiert werden. Daran anschließend werden verschiedene Gläser aufgeführt, die im Sichbaren und Ultraroten im Wellenlängenbereich von etwa 400—2800 mμ gleichmäßig gut durchlässig sind, wie z. B. das Glas G. G 2. Besonders interessant sind schließlich Glassorten, wie z. B. R. G. 4, die ultraviolettes und sichtbares Licht über 750 mμ hinaus stark absorbieren, dagegen ultrarot bis in die Gegend von 2700 mμ gut durchlassen. Derartige Gläser eignen sich also zur Ausblendung des kurzwelligen Ultrarots. Die beschriebenen Gläser können demnach besonders bei spektroskopischen Untersuchungen von großem Nutzen sein, indem sie unerwünschte Strahlenarten von den Meßinstrumenten fernhalten. Die vorliegenden Kurven ermöglichen die Auswahl jedes passenden Filters für den in Frage kommenden Zweck in sehr bequemer Weise.

Malsch.

Kalender für Landmessungswesen und Kulturtechnik. Begründet von W. Jordan, fortgesetzt von W. v. Schlebach, jetzt herausgegeben von Curtius Müller. Stuttgart 1928, Konrad Wittwer.

Auf diesen in Landmesserkreisen bestens bekannten Kalender sei auch an dieser Stelle aufmerksam gemacht. In seinem ersten Teil enthält der Kalender neben einer Sammlung der im Vermessungswesen gebrauchten Tafeln insbesondere eine vom Herausgeber bearbeitete 22. Mitteilung über „Neues auf dem Gebiete des Landmessungswesens und seinen Grenzgebieten". Der zweite Teil enthält kurze Abschnitte über die verschiedenen Gebiete des Vermessungswesens, darunter insbesondere einen solchen über Instrumentenkunde. *P. W.*

Nachdruck verboten

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena, Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **November 1928.** Elftes Heft.

Untersuchung der Teilung eines Wildschen Präzisionstheodolits.

Von
Privatdozent Dr. **Franz Ackerl** in Wien.

Über Aufforderung des österreichischen Bundesvermessungsamtes wurde die Horizontalkreisteilung (360°) des Wildschen Präzisionstheodolits Nr. 18 untersucht. Das Instrument befindet sich im Eigentum des obgenannten Amtes und ist im Sommer dieses Jahres bei der Triangulierung I. Ordnung erstmalig in Österreich verwendet worden.

In bezug auf die Einrichtung des Theodolits kann auf die Gebrauchsanweisung (1)[1] des Wildschen Institutes und die jüngst erschienene Arbeit von Prof. Dr. Werkmeister (2) verwiesen werden.

Es sei lediglich bemerkt, daß die Ableseeinheit von 0,2″ sich dann ergibt, wenn die Koinzidenz der Teilungen zweimal hergestellt und jedesmal der für Doppelablesung in 0,1″ geteilte Sekundenbogen des optischen Mikrometers abgelesen wird. Die Summe der beiden beobachteten Trommelwerte bestimmt die Feinlesung in Bogensekunden; aus der Differenz kann in einfacher Weise auf den mittleren Fehler einer Koinzidenzmessung geschlossen werden.

Das Fadenkreuz des Instrumentes zeigt abweichend von der in (2) beschriebenen Form einen Horizontalfaden, an den von unten her ein Vertikalfaden knapp heranreicht; im oberen Halbfeld liegen symmetrisch zum verlängert gedachten Vertikalfaden zwei Fäden im Abstand von rund 18″.

Die Untersuchung wurde nach dem von Prof. Heuvelink angegebenen Verfahren durchgeführt (3). Eine Abänderung wurde nur insofern getroffen, als das von Heuvelink geforderte, in jeder Kreislage φ gleich häufige Vorkommen sämtlicher in einem Gradintervall vorhandenen Teilstriche außer acht gelassen wurde. In jeder Lage wurde der die Kreisstellung kennzeichnende Gradstrich zu Beginn des Satzes eingestellt. Dies einerseits im Hinblick auf die von L. Fritz und W. Uhink (4) angedeutete Rücksichtnahme auf die kurzperiodichen Teilungsfehler, andererseits wird durch diese Anordnung der Messungen die Abhängigkeit des Beobachters vom Protokollführer verringert und damit die Schnelligkeit und Schärfe der Beobachtungen gesteigert.

Die Messungen wurden im Pendelkeller des Bundesvermessungsamtes ausgeführt; Instrument und Kollimatoren standen auf Steinpfeilern.

Die Beleuchtung der Teilungen und des Fadenkreuzes besorgte die dem Instrument beigegebene elektrische Leuchtvorrichtung; Fernrohrvergrößerung war 40.

[1]) Siehe den Literaturhinweis am Schluß.

Tabelle 1. (Beobachtungen.)

Serie I (7^{55}—8^{45}) 21. März 1928. Temperatur: + 4,6° C, $\alpha = 45^0\,00' + p_i$.

Nummer des Satzes p_1	p_3	Kreislage φ^0	Satz I Hin p_1 ″	Satz I Rück p_2 ″	v_1 0,01″	Satz II Hin p_3 ″	Satz II Rück p_4 ″	v_2 0.01″	Gesamtmittel p ″	$(p-\alpha)$ 0,01″	Beobachter: Ackerl, Protokoll: Ing. Th. Braun.
1	18	0	2,42	3,08	— 66	5,22	5,30	— 8	4,01	— 45	$[v\,v] = 3{,}3260$
2	17	20	3,34	3,60	— 26	5,02	4,68	+ 34	4,16	— 30	$[v] = -2{,}66''$
3	16	40	3,76	4,56	— 80	5,16	5,34	— 18	4,71	+ 25	$[(p-\alpha)^2] = 0{,}4642$
4	15	60	4,04	4,02	+ 2	5,28	5,18	+ 10	4,63	+ 17	$\mu_a = \pm\,0{,}20''$
5	14	80	3,26	3,96	— 70	6,12	5,58	+ 54	4,73	+ 27	
6	13	100	3,78	3,66	+ 12	5,06	5,58	— 52	4,52	+ 6	
7	12	120	4,02	3,78	+ 24	4,64	5,48	— 84	4,48	+ 2	
8	11	140	3,30	3,44	— 14	5,84	5,46	+ 38	5,51	+ 5	
9	10	160	3,44	3,56	— 12	5,30	5,40	— 10	4,43	— 3	
					$[v_1] = -2{,}30''$			$[v_2] = -0{,}36''$	4,46″ $= \alpha$		

Serie II (8^{50}—9^{30})

p_1	p_3	φ^0	p_1	p_2	v_1	p_3	p_4	v_2	p	$(p-\alpha)$	
19	36	10	2,88	3,24	— 36	4,54	5,38	— 84	4,01	— 47	$[v\,v] = 3{,}0724$
20	35	30	3,26	3,10	+ 16	5,06	4,94	+ 12	4,09	— 39	$[v] = +\,0{,}06''$
21	34	50	4,02	4,06	— 4	5,62	5,66	— 4	4,84	+ 36	$[(p-\alpha)^2] = 1{,}1538$
22	33	70	4,38	4,74	— 36	5,88	5,56	+ 32	5,14	+ 66	$\mu_a = \pm\,0{,}22''$
23	32	90	2,76	2,74	+ 2	5,94	5,24	+ 70	4,17	— 31	
24	31	110	4,00	3,76	+ 24	5,44	5,64	— 20	4,71	+ 23	
25	30	130	4,18	3,30	+ 88	5,50	5,36	+ 14	4,59	+ 11	
26	29	150	2,62	3,24	— 62	5,74	5,40	+ 34	4,25	— 23	
27	28	170	3,42	3,62	— 20	5,42	5,62	— 20	4,52	+ 4	
					$[v_1] = -0{,}28''$			$[v_2] = +\,0{,}34''$	4,48″ $= \alpha$		

Serie III (9^{35}—10^{15})

p_1	p_3	φ^0	p_1	p_2	v_1	p_3	p_4	v_2	p	$(p-\alpha)$	
37	54	5	2,26	2,48	— 22	6,38	5,42	+ 96	4,14	— 34	$[v\,v] = 4{,}0232$
38	53	25	3,26	3,26	0	4,56	4,80	— 24	3,97	— 51	$[v] = -2{,}88''$
39	52	45	3,56	4,32	— 76	5,46	5,86	— 40	4,80	+ 32	$[(p-\alpha)^2] = 0{,}8153$
40	51	65	4,46	4,42	+ 4	4,90	4,90	0	4,67	+ 19	$\mu_a = \pm\,0{,}44''$
41	50	85	3,74	3,96	— 22	5,96	5,40	+ 56	4,77	+ 29	
42	49	105	3,88	4,16	— 28	5,46	6,06	— 60	4,89	+ 41	
43	48	125	3,54	3,26	+ 28	5,12	5,68	— 56	4,40	— 8	
44	47	145	3,02	3,72	— 70	5,16	5,82	— 66	4,43	— 5	
45	46	165	3,48	3,78	— 30	5,04	4,82	+ 22	4,28	— 20	
					$[v_1] = -2{,}16''$			$[v_2] = -0{,}72''$	4,48″ $= \alpha$		

Serie IV (10^{20}—11^{10})

p_1	p_3	φ^0	p_1	p_2	v_1	p_3	p_4	v_2	p	$(p-\alpha)$	
55	72	15	4,22	3,88	+ 34	4,34	4,20	+ 14	4,16	— 40	$[v\,v] = 2{,}9996$
56	71	35	3,50	3,18	+ 32	4,78	5,22	— 44	4,17	— 39	$[v] = -1{,}74''$
57	70	55	4,38	4,34	+ 4	5,42	5,82	— 40	4,99	+ 43	$[(p-\alpha)^2] = 1{,}3088$
58	69	75	3,56	3,96	— 40	6,10	6,04	+ 6	4,92	+ 36	$\mu_a = \pm\,0{,}23''$
59	68	95	2,88	3,34	— 46	6,08	6,44	— 36	4,68	+ 12	
60	67	115	4,96	4,54	+ 42	5,06	5,36	— 30	4,98	+ 42	
61	66	135	3,12	3,48	— 36	6,70	6,20	+ 50	4,88	+ 32	
62	65	155	3,68	4,48	— 80	3,98	4,46	— 48	4,15	— 41	
63	64	175	3,34	3,50	— 16	5,06	4,46	+ 60	4,09	— 47	
					$[v_1] = -1{,}06''$			$[v_2] = -0{,}68''$	4,56″ $= \alpha$		

Die Kollimatoren wurden für schwarze Fäden auf mattweißem Grunde eingerichtet und blieben nach den Vorversuchen samt dem Instrument durch 2 Tage hindurch bei einer Kellertemperatur von 4,6° C unberührt stehen.

Zweck der Vorversuche war, die Ablesungsgenauigkeit durch zahlreiche Beobachtungen bis zu jenem Maße zu steigern, welches in Anbetracht der zu erwartenden Teilungspräzision als wünschenswert erachtet werden mußte.

Ohne nähere Angaben zu bringen sei erwähnt, daß bei den ersten Messungen der m. F. einer Ablesung etwa ± 0,4″ bis ± 0,6″ betrug. Ein im Beobachten der Koinzidenzen gänzlich unerfahrener Herr erreichte im Mittel ± 0,9″. Bei Abschluß der Vorarbeiten konnte der zu erwartende m. F. einer Koinzidenz aus 100 Doppeleinstellungen mit ± 0,26″ berechnet werden.

Bei ziemlicher Übung und unter Anwendung großer Sorgfalt dürfte es immer gelingen, den Ablesefehler in der Nähe von ± 0,3″ zu halten, sofern man nur besonderes Augenmerk auf eine gleichbleibende, nicht allzu helle Beleuchtung der Teilung legt.

Teilungsuntersuchung.

Die Anordnung der Beobachtungen war bis auf die oben mitgeteilte Änderung die gleiche, wie sie in der Originalabhandlung (3) von Heuvelink und auszugsweise in der Untersuchung des Wildschen Universaltheodolits (4a) angegeben wurde. Die Bezeichnungen von Heuvelink werden beibehalten.

Die vorstehende Tabelle 1 bringt die Ergebnisse der Messungen nebst Berechnung der Werte $(p - \alpha)$ und der Differenzen v zwischen Hin- und Rückgang jeder Satzmessung. Es ist zu bemerken, daß der größte derartige Unterschied 0,96″ beträgt (Serie III, $\varphi = 5^0$). μ_a ist der m. F. einer Ablesung berechnet aus sämtlichen Doppeleinstellungen einer Serie (72 Werte).

Die Einzelheiten der weiteren Rechnung müssen übergangen werden; in der nachfolgenden Zusammenstellung (Tab. 2) sind die Ergebnisse serienweise mitgeteilt.

Tabelle 2. Ergebnisse der Rechnungen.

Serie	$[(p-\alpha)\cdot$ sin 2 φ] ″	cos 2 φ] ″	sin 4 φ] ″	cos 4 φ] ″	sin 6 φ] ″	cos 6 φ] ″	$[(p-\alpha)^2]$	$[v\,v]$	$[v]$ ″	$\pm\mu_a$ ″	α ″
I	+ 0,2197	− 1,0558	− 0,4552	− 0,6316	− 0,2252	− 0,4100	0,4642	3,3260	− 2,66	0,20	4,46
II	+ 0,2098	− 1,1677	− 0,9754	− 0,6164	− 0,2857	+ 1,3950	1,1538	3,0724	+ 0,06	0,22	4,48
III	+ 0,0833	− 1,5887	− 0,3770	− 0,1068	− 0,7800	+ 0,0347	0,8153	4,0232	− 2,88	0,44	4,48
IV	− 0,2491	− 2,0536	− 0,1662	− 0,7015	+ 0,4300	+ 0,9180	1,3088	2,9996	− 1,74	0,23	4,56
Summe	+ 0,2637	− 5,8658	− 1,9738	− 2,0563	− 0,8609	+ 1,9377	3,7421	13,4212	− 7,22	·	·

Die Konstanten der Fourierschen Reihe:

$$F = a \sin(2\varphi + A) + b \sin(4\varphi + B) + c \sin(6\varphi + C)$$

ergeben sich, kurz angedeutet, aus:

$$\operatorname{tg}(i\beta + K) = \frac{-[(p-\alpha)\sin 2i\varphi]}{[(p-\alpha)\cos 2i\varphi]}; \quad i = \begin{matrix}1\\2,\\3\end{matrix} \quad K = \begin{matrix}A\\B,\\C\end{matrix} \quad \beta = 45^0;$$

$$r_i = \frac{-[(p-\alpha)\sin 2i\varphi]}{n \sin i\beta \sin(i\beta + K)} = \frac{[(p-\alpha)\cos 2i\varphi]}{n \sin i\beta \cos(i\beta + K)}; \quad i = \begin{matrix}1\\2,\\3\end{matrix} \quad K = \begin{matrix}A\\B,\\C\end{matrix} \quad r_i = \begin{matrix}a\\b.\\c\end{matrix}$$

Mit den oben angegebenen Werten erhält man:

$$\beta + A = 182^0\,34', \qquad 2\beta + B = 136^0\,10', \qquad 3\beta + C = 23^0\,57',$$
$$A = 137^0\,34', \qquad B = 46^0\,10', \qquad C = 248^0\,57',$$
$$a = 0{,}231'', \qquad b = 0{,}079'', \qquad c = 0{,}083''.$$

Die periodischen Durchmesserfehler der Teilung werden demnach dargestellt durch den Ausdruck:

$$F = 0{,}231'' \sin(2\varphi + 137^0\,34') + 0{,}079'' \sin(4\varphi + 46^0\,10') + 0{,}083'' \sin(6\varphi + 248^0\,57').$$

Weiter findet man bei Beachtung der Bezeichnungen nach Heuvelink (3) und Verwendung der in Tab. 2 ausgewiesenen Größen:

Schleppfehler:

$$\gamma = \frac{[v]}{72} = \frac{-7{,}22''}{72} \doteq -0{,}100'', \qquad \gamma^2 = 0{,}010056.$$

M. F. einer beobachteten Richtung:

$$\mu^2 = \frac{1}{4}\left(\frac{[v\,v]}{72} - \gamma^2\right) = 0{,}044087, \qquad \underline{\mu = \pm\,0{,}210''}.$$

M. F. des viermal gemessenen Winkels:

$$m^2 = \frac{1}{2}\mu^2, \qquad \underline{m = \pm\,0{,}148''}.$$

Zur Ermittlung des totalen Teilungsfehlers τ und der mittleren zufälligen Teilungsfehler τ', τ'', τ''' berechnet man:

$$[x\,x] = [(p-\alpha)^2] = 3{,}7421,$$
$$[x'\,x'] = [x\,x] - \frac{1}{18}\{[(p-\alpha)\sin 2\varphi]^2 + [(p-\alpha)\cos 2\varphi]^2\} = 1{,}826703,$$
$$[x''\,x''] = [x'\,x'] - \frac{1}{18}\{[(p-\alpha)\sin 4\varphi]^2 + [(p-\alpha)\cos 4\varphi]^2\} = 1{,}375255,$$
$$[x'''\,x'''] = [x''\,x''] - \frac{1}{18}\{[(p-\alpha)\sin 6\varphi]^2 + [(p-\alpha)\cos 6\varphi]^2\} = 1{,}125587;$$

ferner:

$$\frac{1}{2}M^2 = \frac{[x\,x]}{64} = 0{,}05\,84\,70, \qquad M = \pm\,0{,}342'',$$
$$\frac{1}{2}M'^2 = \frac{[x'\,x']}{60} = 0{,}03\,04\,45, \qquad M' = \pm\,0{,}246'',$$
$$\frac{1}{2}M''^2 = \frac{[x''\,x'']}{56} = 0{,}02\,45\,60, \qquad M'' = \pm\,0{,}222'',$$
$$\frac{1}{2}M'''^2 = \frac{[x'''\,x''']}{52} = 0{,}02\,16\,46, \qquad M''' = \pm\,0{,}208'';$$

und damit:

$$\tau^2 = \frac{1}{2}M^2 - \frac{1}{4}\mu^2 = 0{,}04\,74\,48, \qquad \tau = \pm\,0{,}218'',$$
$$\tau'^2 = \frac{1}{2}M'^2 - \frac{1}{4}\mu^2 = 0{,}01\,94\,23, \qquad \tau' = \pm\,0{,}139'',$$
$$\tau''^2 = \frac{1}{2}M''^2 - \frac{1}{4}\mu^2 = 0{,}01\,35\,38, \qquad \tau'' = \pm\,0{,}116'',$$
$$\tau'''^2 = \frac{1}{2}M'''^2 - \frac{1}{4}\mu^2 = 0{,}01\,06\,24, \qquad \tau''' = \pm\,0{,}101''.$$

Bestimmt man endlich noch die m. F. der Konstanten der Fourierschen Reihe, so erhält man mit $M^2 = 0{,}116\,940$:

$$M_A = \pm \frac{M}{a\sqrt{n}}\varrho^0 = \pm 14^0\,09', \qquad M_a = \pm \frac{M}{\sqrt{2n}}\operatorname{cosec}\beta = \pm 0{,}057'',$$

$$M_B = \pm \frac{M}{b\sqrt{2n}}\varrho^0 = \pm 29^0\,13', \qquad M_b = \pm \frac{M}{\sqrt{2n}}\operatorname{cosec}2\beta = \pm 0{,}040'',$$

$$M_C = \pm \frac{M}{c\sqrt{n}}\varrho^0 = \pm 39^0\,22', \qquad M_c = \pm \frac{M}{\sqrt{2n}}\operatorname{cosec}3\beta = \pm 0{,}057''.$$

Das rechnerische Ergebnis der vorliegenden Teilungsuntersuchung kann demnach zusammengefaßt werden in dem Ausdruck F für den Verlauf der periodischen Teilungsfehler und den Werten $\tau, \tau', \tau'', \tau'''$ für den mittleren totalen und die mittleren zufälligen Teilungsfehler.

$$F = 0''231 \sin(2\varphi + 137^0\,34') + 0''079 \sin(4\varphi + 46^0\,10') + 0''083 \sin(6\varphi + 248^0\,57')$$
$$\pm 0''057 \qquad \pm 14^0\,09' \quad \pm 0''040 \qquad \pm 29^0\,13' \quad \pm 0''057 \qquad \pm 39^0\,22'$$

$$\underline{\tau = \pm 0{,}218''}, \qquad \underline{\tau' = \pm 0{,}139''}, \qquad \underline{\tau'' = 0{,}116''}, \qquad \underline{\tau''' = \pm 0{,}101''}.$$

Durch Herrn Ing. Wild erhielt ich das gesamte Zahlenmaterial der Teilungsprüfung, welche in Heerbrugg von seiner Tochter vor der Versendung des Instrumentes durchgeführt worden war.

Das Verfahren nach Wild (5) liefert die Teilungsfehler der 20 Kreisstellen von 9^0 zu 9^0 mit guter Annäherung und die mittleren Durchmesserfehler mit großer Genauigkeit.

Auf Grund der Untersuchung des Wildschen Institutes ergeben sich die folgenden Werte (Bezeichnungen nach (5)). Die in Klammern stehenden Zahlen sind die entsprechenden aus der vorliegenden Arbeit.

Ablesefehler:

$$a = \pm 0{,}098'', \qquad (\mu_a = \pm 0{,}27'') \text{ siehe Tab. 2},$$

M. F. einer Winkelmessung:

$$m = \pm 0{,}34'', \qquad (m = \mu\sqrt{2} \doteq \pm 0{,}30''),$$

Mittlerer totaler Teilungsfehler:

$$(t) = \pm 0{,}188'', \qquad (\tau = \pm 0{,}218''),$$

Mittlerer zufälliger Teilungsfehler:

$$t = \pm 0{,}094'', \qquad (\tau''' = \pm 0{,}101'').$$

Die Übereinstimmung der aus zwei gänzlich verschiedenen Prüfungen berechneten Teilungsfehler ist sehr gut; die geringen Differenzen sind praktisch ohne Bedeutung.

In bezug auf die Wildsche Methode der Teilungsuntersuchung teilte mir Herr Ing. Wild mit, daß er über die Grenzen der Leistungsfähigkeit seines Verfahrens sehr genau orientiert sei. „Jedoch wäre nicht außer acht zu lassen, daß es sich vor allem um die Untersuchungsmethode eines Institutes handelt, das jedes Instrument prüft, woraus sich die zwingende Notwendigkeit ergibt, die zu leistende Arbeit der Messung und Rechnung auf einem Minimum zu halten.“

Zum Zwecke eines eingehenderen Vergleiches der beiden Methoden Heuvelink-Wild wurden die vorn mitgeteilten Beobachtungsergebnisse im Sinne des Wildschen Verfahrens (5) ausgewertet.

Ohne die vollständige Rechnung zu bringen, sei der Entwicklungsgang mit den Anfangslagen 0^0 und 5^0 kurz angedeutet. Es ergeben sich 9 Serien, in welchen bei

den Anfangslagen 0°, 5°, 10°, ..., 30°, 35°, 40° der feste Winkel von 45° fortlaufend abgetragen wird. Das folgende Schema dürfte unter Hinweis auf die Wildsche Arbeit (5) ohne Erläuterung verständlich sein.

Grad	Mittel ″	(v) ″	″	(t) ″	Grad	Mittel ″	(v) ″	″	(t) ″
0 45	4,01	— 0,455	0,000	+ 0,248	5 50	4,14	— 0,403	0,000	+ 0,095
45 90	4,80	+ 0,335	— 0,455	— 0,207	50 95	4,84	+ 0,297	— 0,403	— 0,308
90 135	4,17	— 0,295	— 0,120	+ 0,128	95 140	4,68	+ 0,137	— 0,106	— 0,011
135 180	4,88	+ 0,415	— 0,415	— 0,167	140 185	4,51	— 0,033	+ 0,131	+ 0,226
	4,465	0,000	— 0,990 + 0,248	+ 0,002		4,543	— 0,002	— 0,378 + 0,095	+ 0,002

Berechnet man in dieser Weise die Fehler sämtlicher 5°-Striche, so ergibt sich die folgende Zusammenstellung, in der überdies unter F die Werte der periodischen Teilungsfehler nach der vorn angegebenen Fourierschen Reihe eingesetzt wurden. In der 3. Spalte stehen die Differenzen $\Delta = (t) - F$, welche näherungsweise (dies wegen der Vernachlässigung der „Rosettenkorrektionen“ in den einzelnen Serien) jeweils $\Delta \doteq \tau'''$ der betreffenden Kreisstelle angeben.

φ^0	(t) 0,01″	F 0,01″	Δ 0,01″	φ^0	(t) 0,01″	F 0,01″	Δ 0,01″
0	+ 25	+ 14	+ 11	90	+ 13	— 2	+ 15
5	+ 10	+ 11	— 1	95	— 1	+ 3	— 4
10	+ 10	+ 10	0	100	+ 12	+ 6	+ 6
15	+ 7	+ 10	— 3	105	— 11	+ 6	— 17
20	0	+ 9	— 9	110	— 14	+ 4	— 18
25	+ 15	+ 7	+ 8	115	0	+ 2	— 2
30	+ 2	+ 3	— 1	120	+ 14	+ 1	+ 13
35	+ 9	— 3	+ 12	125	+ 8	+ 2	+ 6
40	— 26	— 11	— 15	130	+ 15	+ 4	+ 11
45	— 21	— 20	— 1	135	— 17	+ 8	— 25
50	— 31	— 28	— 3	140	+ 23	+ 14	+ 9
55	— 38	— 34	— 4	145	+ 16	+ 19	— 3
60	— 26	— 38	+ 12	150	+ 30	+ 23	+ 7
65	— 26	— 38	+ 12	155	+ 27	+ 25	+ 2
70	— 51	— 34	— 17	160	+ 35	+ 25	+ 10
75	— 34	— 27	— 7	165	+ 18	+ 23	— 5
80	— 20	— 18	— 2	170	+ 3	+ 20	— 17
85	— 9	— 10	+ 1	175	+ 20	+ 17	+ 3

$[\Delta\Delta] = 0{,}3714, \quad [(t)(t)] = 1{,}5673.$

Bildet man einen mittleren Wert aller Δ nach

$$\Delta \doteq \tau''' = \sqrt{\frac{[\Delta\Delta]}{36}},$$

so erhält man $\tau''' = \pm 0{,}101''$ in vollständiger Übereinstimmung mit dem nach der

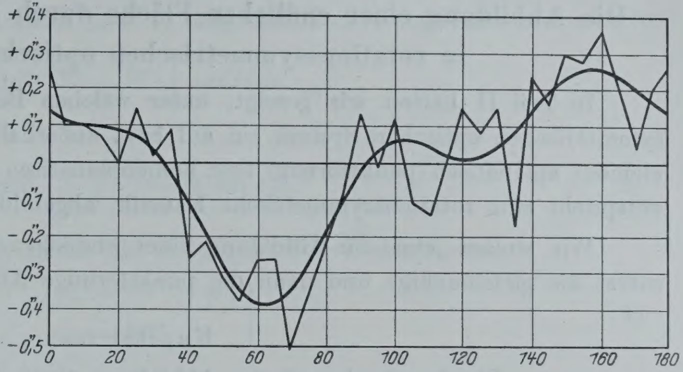
strengen Heuvelinkschen Methode gefundenen Betrag. Ferner ergibt sich noch

$$(t) = \sqrt{\frac{[(t)(t)]}{36}} = \pm 0{,}209''$$

gegenüber $\tau = \pm 0{,}218''$ von früher.

Das folgende Schaubild bringt die zeichnerische Darstellung des Verlaufes der periodischen Teilungsfehler F und zeigt zugleich das Polygon der oben mitgeteilten Durchmesserfehler (t).

Es ist deutlich erkennbar, daß die nach der Wildschen Methode ermittelten Werte (t) die tatsächlichen Durchmesserfehler offenbar mit sehr großer Annäherung wiedergeben.



Nach Beendigung der Beobachtungen zum Heuvelinkschen Prüfungsverfahren wurde von mir im Pendelkeller noch eine vollständige Untersuchung nach Wild mit dem Sektor von 36° in den 4 Anfangslagen 0°, 9°, 18°, 27° durchgeführt. Die Auswertung dieser Messungen ergab die folgenden Resultate. (Bezeichnungen nach Wild (5), wie sie auch weiter vorne verwendet wurden.)

Ablesefehler: $a = \pm 0{,}31''$, $(t) = \pm 0{,}230'' \doteq \tau$,

M. Winkelfehler: $m = \pm 0{,}40''$, $t = \pm 0{,}115'' \doteq \tau'''$.

Die Übereinstimmung mit den auf völlig anderem Wege durch die Heuvelinksche Methode gefundenen Kennwerten τ und τ''' kann als sehr gut bezeichnet werden.

Zur Erledigung des Heuvelinkschen Beobachtungsprogrammes (in 36 Kreislagen je 4 Winkel, insgesamt 144 Winkelmessungen) wurde eine Zeit von $3^h\ 15^m$ benötigt.

Die Messungen für die Untersuchung nach dem Wildschen Verfahren (in 20 Kreislagen je 2 Winkel, insgesamt 40 Winkelmessungen) waren in $1^h\ 5^m$ beendigt.

Die Dauer einer Winkelmessung in einer Fernrohrlage kann auf Grund dieser Angaben für den neuen Präzisionstheodolit mit rund $1^1/_2$ Minuten veranschlagt werden.

Abschließend wird festgestellt, daß die Horizontalkreisteilung des Präzisionstheodolits Nr. 18 einen mittleren zufälligen Teilungsfehler von rund 0,1″ aufweist und demnach unter die besten Teilungen zu zählen ist.

Literaturhinweis.

1. Gebrauchsanweisung zum Präzisionstheodolit Wild für Triangulierung I. u. II. Ordnung.
2. P. Werkmeister, *diese Zeitschr.* **48.** *S. 114. 1928.*
3. Hk. J. Heuvelink, *Zeitschr. f. Verm.* **42.** *S. 441. 1913. diese Zeitschr.* **45.** *S. 70. 1925.*
4. L. Fritz und W. Uhink, *diese Zeitschr.* **48.** *S. 53. 1928.*
4a. F. Ackerl, *Österr. Zeitschr. f. Verm.* **24.** *Nr. 6. 1926*; Referat in *dieser Zeitschr.* **48.** *S. 94. 1928.*
5. H. Wild, *Schweiz. Zeitschr. f. Verm. u. Kulturtechn.* **23.** *S. 123. 1925.*

Über Sinusbedingung, Kosinusrelation, Isoplanasie- und Homöoplanasiebedingung, ihren Zusammenhang mit energetischen Überlegungen und ihre Ableitung aus dem Fermatschen Gesetz.

Von

M. Herzberger in Jena, wissenschaftlichem Mitarbeiter von Carl Zeiss.

(Fortsetzung und Schluß von S. 490.)

Teil III.

Die Abbildung einer endlichen Fläche durch endlich geöffnete Bündel in rotationssymmetrischen optischen Systemen.

In Teil II hatten wir gezeigt, unter welchen Bedingungen in einem rotationssymmetrischen optischen System ein auf bzw. außerhalb der Achse gelegenes Flächenelement aplanatisch (punktförmig) bzw. homöoplanatisch (gleichmäßig, d. h. jedem Punkt entspricht eine rotationssymmetrische Kaustik) abgebildet werden kann.

Wir wollen jetzt die Abbildung einer endlichen Fläche untersuchen, und zwar zuerst die gleichmäßige und dann die punktförmige Abbildung.

Kapitel 1.

Die homöoplanatische Abbildung einer endlichen Fläche.

Wir nehmen an, jedem Punkt einer endlichen, um die Achse rotationssymmetrischen Fläche entspreche bildseitig eine rotationssymmetrische Kaustik.

Betrachten wir die Rotationsachsen dieser Kaustiken, die wir im vorigen Kapitel als Hauptstrahlen bezeichnet haben. Diese Strahlenmannigfaltigkeit bildet wieder ein rotationssymmetrisches Geradensystem; die zugehörige Kaustik bezeichnen wir als die Hauptstrahlen- bzw. als die Pupillen-(Blenden-)kaustik. Die Spitze dieser Kaustik ist die isoplanatische Blende B_0' unseres Systems.

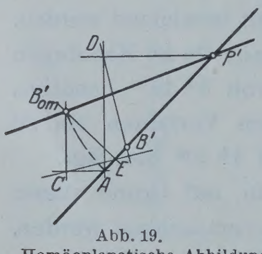


Abb. 19.
Homöoplanatische Abbildung einer endlichen Fläche.

Ein Hauptstrahl berührt die Hauptstrahlenkaustik in einem Punkt B'_{0m}, den wir im vorigen Teil als den meridionalen Pupillenpunkt bezeichnet haben; er schneidet die Achse in einem Punkt B'_{0s}, den wir den sagittalen Pupillenpunkt nannten.

Der meridionale Pupillenpunkt war der Punkt, von dem aus die in den Spitzen der bildseitigen Strahlenkegel erscheinenden Bilder eines meridionalen Linienelements unter demselben Winkel erscheinen; der sagittale Pupillenpunkt ist der Punkt, von dem aus die an obigen Stellen aufgefangenen Bilder eines sagittalen Linienelements gleich groß erscheinen.

Wie geht nun aus einer beliebigen Kaustik die Nachbarkaustik hervor? Da alle Kaustiken rotationssymmetrisch sind, und außerdem noch alle Kaustiken, deren Objekte auf einem achsensenkrechten Kreis liegen, kongruent sind, so genügt es wieder, sich auf die Betrachtung der Strahlen in der Meridianebene zu beschränken.

Wie verändert sich nun die Kaustik, wenn wir von einem Hauptstrahl zum nächsten vorwärtsschreiten? Benutzen wir den Weg, den wir im vorigen Abschnitt gegangen sind. Die kaustische Spitze wanderte von P_0' bis P'_{0m}; währenddessen betrachteten wir den durch P'_m gehenden Kegelmantel, wo P'_m aus P' durch Verschiebung parallel $P_0'P'_{0m}$

hervorging. Dann ergab sich die Änderung des Winkels zwischen Kegelmantel und Hauptstrahl $\delta(\varepsilon'_{m0} - \varepsilon'_m)$ beim Übergang zur Nachbarkaustik aus Gl. 106) wie folgt

$$\cot \frac{(\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0})}{2}\, \delta(\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}) = \cot \varepsilon'_{m0}\, \delta \varepsilon'_{m0} \,. \qquad 1)$$

Wir wollen jetzt von der axialen Kaustik aus zu einer beliebigen Kaustik fortschreiten. Dabei bewegt sich die kaustische Spitze auf einer achsensymmetrischen Kurve, die die Achse senkrecht schneidet. Der im Punkt P' mündende Strahlenkegel, der mit der Achse einen Winkel u' bildet, verändert sich dann in der durch Gl. 1) angegebenen Weise, wenn wir von P' nach P'_m auf einer Kurve vorwärtsgehen, die die Hauptstrahlen unter demselben Winkel ε'_{0m} schneidet, wie die (beliebig gegebene) Kurve der kaustischen Spitzen. Wir können jetzt 1) umwandeln und integrieren, und erhalten

$$dl\left(\sin^2 \frac{(\varepsilon'_m - \varepsilon'_{0m})}{2}\right) = dl\,(\sin \varepsilon_{m_0})$$

oder

$$\sin^2 \frac{\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}}{2} = C \sin \varepsilon'_{m0} \,. \qquad 2)$$

Die Konstante ergibt sich durch die Anfangswerte auf der Achse

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon'_m &= 90^0 - u', \\ \varepsilon'_{m0} &= 90^0 \end{aligned}\right\} \qquad 3)$$

zu

$$C = \sin^2 \frac{u'}{2}, \qquad 4)$$

also

$$\sin^2 \frac{\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}}{2} = \sin^2 \frac{u'}{2} \sin \varepsilon'_{m0} \,. \qquad 5)$$

Wir brauchen jetzt nur die Gesamtheit aller der Kurven zu konstruieren, die die Hauptstrahlen unter gleichen Winkeln schneiden wie die Kurve der kaustischen Spitzen, und sind imstande, aus der axialen Kaustik jede außeraxiale Kaustik in einfacher Weise zu konstruieren.

Die soeben gestellte Aufgabe lösen wir, wie folgt. Sei k_s' die Entfernung der kaustischen Spitze P'_{0m} vom Durchstoßpunkt des zugehörigen Hauptstrahls mit der Achse (vom zugehörigen sagittalen Pupillenpunkt B'_{0s}), sei $\Delta h'$ die sphärische Abweichung der Hauptstrahlenkaustik, dann sind die kartesischen Koordinaten der Kurve der kaustischen Spitzen gegeben durch

$$\left.\begin{aligned} x &= \Delta h' + k_s' \cos u_0', \\ y &= -\,k_s' \sin u_0', \end{aligned}\right\} \qquad 6)$$

wenn u_0' den Winkel zwischen Hauptstrahl und Achse durchläuft.

Die gesuchten Kurven haben dann die Form

$$\left.\begin{aligned} \zeta &= \Delta h' + (k_s' + \Delta') \cos u_0', \\ \eta &= -\,(k_s' + \Delta') \sin u_0', \end{aligned}\right\} \qquad 7)$$

und die beiden Kurven schneiden die Hauptstrahlen nur dann unter gleichem Winkel ε'_{m0}, wenn

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{\partial \eta}{\partial \zeta} = \operatorname{tg} \eta = \operatorname{tg}(\varepsilon'_{m0} - u_0') \qquad 8)$$

ist. Das gibt

$$\frac{\frac{\delta \Delta h'}{\delta u_0} - k_s' \sin u_0' + \cos u_0' \frac{\delta k_s'}{\delta u_0'}}{k_s' \cos u_0' + \frac{\partial k_s'}{\partial u_0'} \sin u_0'}$$

$$= \frac{\frac{\delta \Delta h'}{\delta u_0'} - k_s' \sin u_0' + \cos u_0' \frac{\delta k_s'}{\delta u_0'} + \frac{\delta \Delta'}{\delta u_0'} \cos u_0' - \Delta' \sin u_0'}{k_s' \cos u_0' + \frac{\delta k_s'}{\delta u_0'} \sin u_0' + \frac{\delta \Delta'}{\delta u_0'} \sin u_0' + \Delta' \cos u_0'},$$

also

$$\frac{\delta (l \Delta')}{\delta u_0'} = \frac{\frac{\delta \Delta h'}{\delta u_0'} \cos u_0' + \frac{\delta k_s'}{\delta u_0'}}{k_s' - \frac{\delta \Delta h'}{\delta u_0'} \sin u_0'}, \tag{9}$$

eine leicht zu integrierende Gleichung. Der Winkel ε'_{m0} ergibt sich aus

$$\varepsilon'_{m0} = \eta' + u_0' \tag{10}$$

und Gl. 8) zu

$$\operatorname{tg} \varepsilon'_{m0} = \frac{\frac{\delta \Delta h'}{\delta u_0'} \cos u_0' + \frac{\delta k'}{\delta u_0'}}{k_s' - \frac{\delta \Delta h'}{\delta u_0'} \sin u_0'}. \tag{11}$$

Daraus ergibt sich Gl. 9) zu

$$\frac{\delta (l \Delta')}{\delta u_0'} = + \operatorname{ctg} \varepsilon'_{m0} \tag{12}$$

oder

$$\Delta' = \Delta_0' e^{\int_0^{u'} \operatorname{ctg} \varepsilon'_{m0} \, du_0'} . \tag{13}$$

In Gl. 13) ist der Zusammenhang zwischen der sphärischen Aberration der axialen Kaustik und der sphärischen Aberration einer beliebigen Kaustik gegeben. Durch den durch Gl. 13) bestimmten Punkt in der Entfernung auf dem Hauptstrahl von der kaustischen Spitze geht ein Strahlenkegel, der mit dem Hauptstrahl den Winkel $\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}$ bildet, wo $\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}$ gegeben ist durch Gl. 5)

$$\sin^2 \frac{\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}}{2} = \sin^2 \frac{u'}{2} \sin \varepsilon'_{m0},$$

wo u' der zur sphärischen Abweichung Δ' auf der Achse gehörende halbe Öffnungswinkel ist, und ε'_{m0} durch 11) gegeben wird. Übrigens gilt noch

$$k_s' = k_t' = t_h' = \frac{\delta \Delta h'}{\delta u_0'} \sin u_0'. \tag{14}$$

Wir wollen das soeben gefundene an einigen einfachen Beispielen durchrechnen.

Fall I. Die Blendenkaustik sei bildseitig punktförmig, d. h. es gilt $\Delta h' \equiv 0$. Dann gibt Gl. 9)

$$\frac{\delta (l \Delta')}{\delta u_0'} = \frac{\delta (l k_s')}{\delta u_0'}, \tag{15}$$

oder integriert

$$\Delta' = \frac{k_s'}{k_0'} \Delta_0'. \tag{16}$$

Hier bedeutet k_0' die Entfernung der kaustischen Spitze auf der Achse von der Blende. Gl. 16) ist geometrisch offensichtlich. Die so betrachtete Kurvenschar schneidet jeden Hauptstrahl unter einem Winkel ε'_{m0}, der durch

$$\operatorname{tg} \varepsilon'_{m0} = \frac{\delta l k_s'}{\delta u_0'} \qquad 17)$$

gegeben ist, und Gl. 5) gibt nun die Öffnung des zu einer beliebigen sphärischen Aberration gehörenden Strahlenkegels.

Fall II. Die Hauptstrahlenkaustik ist beliebig. Die Fläche der kaustischen Spitzen schneidet alle Hauptstrahlen senkrecht (sie ist eine Wellenfläche der Hauptstrahlenkaustik).

Dann ergibt sich

$$\varepsilon'_{m0} \equiv \frac{\pi}{2}, \qquad 18)$$

daraus wegen 12)

$$\Delta' = \Delta_0', \qquad 19)$$

d. h. die zu konstruierenden Flächen sind auch Wellenflächen der Hauptstrahlenkaustik und

$$\sin^2 \frac{(\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0})}{2} = \sin^2 \left(\frac{u'}{2}\right), \qquad 20)$$

d. h. die Kaustiken bleiben kongruent. Man erkennt leicht, daß nur in diesem Fall die Kaustiken kongruent bleiben.

$$\left.\begin{aligned} \varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0} &= u', \\ \Delta' &= \Delta_0'. \end{aligned}\right\} \qquad 21)$$

Fall III. Die Hauptstrahlenkaustik ist beliebig; die Fläche der kaustischen Spitzen ist eine Ebene.

In diesem Fall ergibt sich, daß

$$\varepsilon'_{m0} = \frac{\pi}{2} - u_0'$$

ist, also wird aus Gl. 12)

$$\delta(l\Delta') = -\delta l \cos u_0' \qquad 22)$$

oder

$$\Delta' = \frac{\Delta_0'}{\cos u_0'}, \qquad 23)$$

d. h. die zu konstruierenden Flächen sind wieder achsensenkrechte Ebenen. Es gilt wieder die Gleichung

$$\sin^2 \frac{\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}}{2} = \sin^2 \frac{u}{2} \sin u_0'. \qquad 24)$$

Wir sehen also, die Kaustiken werden immer langgestreckter und ihre Öffnungen immer schmaler, je größer u_0', die Neigung des Hauptstrahls, wird.

Wir haben im vorhergehenden gezeigt, wie und unter welchen Bedingungen die homöoplanatische Abbildung einer endlichen Fläche möglich ist. Es muß jedem Punkte bildseitig eine rotationssymmetrische Kaustik entsprechen, und jeder Strahl muß zwei Gleichungen in Kosinusform genügen.

$$\left.\begin{aligned} n'(k_s' + \Delta')\beta_s' \cos \varepsilon_s' &= n k_s' \cos \varepsilon_s. \\ n'(k_m + \Delta')\beta'_m (\cos \varepsilon'_m - \cos \varepsilon'_{m0}) &= n k'_m (\cos \varepsilon_m - \cos \varepsilon_{m0}). \end{aligned}\right\} \qquad 25)$$

Die Erfüllung obiger Bedingung ist bei beliebig vorgeschriebener Hauptstrahlenkaustik und bei beliebig vorgegebener Fläche, auf der die Spitzen aller Kaustiken liegen, prinzipiell möglich, d. h. sie widerspricht keinen optischen Gesetzen. Ist sie erfüllt, so kann man aus einer beliebig gegebenen Kaustik (z. B. der axialen Kaustik) mit Hilfe des Gleichungspaares

$$\Delta' = \Delta_0' \, e^{\int_0^{u_0} \operatorname{ctg} \varepsilon'_{m0} \, du_0'}$$

und

$$\sin^2 \frac{\varepsilon'_m - \varepsilon'_{m0}}{2} = \sin^2 \frac{u'}{2} \sin \varepsilon'_{m0} \qquad 26)$$

alle übrigen Kaustiken berechnen.

Kapitel 2.

Die aplanatische Abbildung einer endlichen Fläche.

Wir sahen, unter welchen Bedingungen die homöoplanatische Abbildung einer endlichen Fläche möglich ist, und daß eine solche Abbildung optisch jedenfalls prinzipiell realisierbar ist. Wir sahen ferner, daß wir bildseitig willkürlich vorschreiben können die Hauptstrahlenkaustik, die Fläche der kaustischen Spitzen und die sphärische Aberration auf der Achse. Durch jede solche Wahl ist aber dann der bildseitige Strahlengang für alle Objektpunkte vollständig gegeben.

Wählen wir insbesondere die sphärische Aberration auf der Achse, sowie die Fläche der kaustischen Spitzen, so gibt es noch unendlich viele Abbildungsmöglichkeiten, nämlich je eine für jede Lage der Hauptstrahlenkaustik. Wir sehen also insbesondere: Verschwindet die sphärische Abweichung der axialen Kaustik [was wegen Gl. 13) bedeutet, daß alle Kaustiken in einen Punkt entarten], so ist die Abbildung bei gegebener Bildfläche noch auf unendlich viele Arten zu erreichen. Eine solche Abbildung bezeichnen wir als aplanatisch. Wir sehen also:

Die aplanatische Abbildung zweier endlicher Flächen aufeinander ist möglich, und zwar noch auf unendlich viele Arten; notwendig dafür ist, daß alle Strahlen Gleichungen der Form

$$\left.\begin{aligned} n'\beta_s' \cos \varepsilon_s' &= n \cos \varepsilon_s , \\ n'\beta'_m \cos \varepsilon'_m - n \cos \varepsilon_m &= C_m \end{aligned}\right\} \qquad 27)$$

genügen, wo

$$\beta_s' = \frac{y'}{y} \qquad 28)$$

durch das Verhältnis der Abstände von Ding- und Objektpunkt von der Achse gegeben ist.

Hier sind ε_s', ε'_m die Winkel eines beliebigen Strahles gegen die sagittale bzw. gegen die meridionale Richtung, β_s' und β'_m sind Funktionen des Abstandes von der Achse.

Die Abbildung ist verzeichnungsfrei, wenn immer

$$\beta'_m = \beta_s' = \frac{y'}{y} = \beta_0'$$

ist.

Kapitel 3.

Der Zuordnungssatz.

Die Kosinusbedingung kann selbstverständlich, wie wir schon in Teil I sahen, nur eine notwendige, aber nicht eine hinreichende Bedingung sein für die Abbildung zweier Punkte. Anschaulich kann man dies, wie folgt erkennen. Die Kosinusrelation

sagt etwas aus über die Gesamtheit der Strahlen, die von einem Punkt eines Linienelements ausgehen; sie bevorzugt also einen der beiden Punkte.

Die Aussage, ein Linienelement wird abgebildet, tut das nicht. Ist sie erfüllt, so wird also für jeden der beiden Punkte des betrachteten Linienelements eine Bedingung in Kosinusform erfüllt sein müssen. Oder anders ausgedrückt: zwei Punkte eines Linienelements können nur dann durch eine Strahlenmannigfaltigkeit abgebildet werden, wenn nicht nur eine Kosinusbedingung, sondern auch die Ableitung der Kosinusbedingung nach unserm Linienelement gilt.

Wir wollen die Bedeutung dieser Ableitung an einem besonders interessanten Fall studieren.

Wir betrachten die verzeichnungsfreie Abbildung ($\beta' =$ konst.) einer endlichen Fläche durch ein rotationssymmetrisches optisches System, und zwar wieder nur Strahlen in der Meridianebene und die Abbildung der in der Meridianebene gelegenen Kurven. Der Punkt P wurde auf P' abgebildet. Seien r bzw. r' die Krümmungen der abgebildeten Kurven in den betrachteten Punkten, seien dl bzw. dl' die entsprechenden Linienelemente. Betrachten wir zwei beliebige von P bzw. vom Nachbarpunkt ausgehende Strahlen. Sie treffen sich objektseitig in O, bildseitig in O'. Sei

$$\left.\begin{aligned} PO &= x, \\ P'O' &= x'. \end{aligned}\right\} \qquad 29)$$

Dann ist, wenn $d\varphi$ den Winkel zwischen zwei benachbarten Normalen darstellt,

$$dl = r\,d\varphi = \frac{x\,d\psi}{\sin\varepsilon}, \qquad 30)$$

wenn $d\psi$ den Winkel zwischen den betrachteten Strahlen darstellt, und es gilt

$$d\psi = d\varphi + d\varepsilon, \qquad 31)$$

also nach Elimination von $d\psi$ und $d\varphi$

$$\frac{\delta\varepsilon}{\delta l} = \left(\frac{\sin\varepsilon}{x} - \frac{1}{r}\right) \qquad 32)$$

oder

$$\frac{\delta\cos\varepsilon}{\delta l} = \left(\frac{\sin\varepsilon}{r} - \frac{\sin^2\varepsilon}{x}\right) \qquad 33)$$

analog

$$\frac{\delta\cos\varepsilon_m'}{\delta l'} = \left(\frac{\sin\varepsilon'}{r'} - \frac{\sin^2\varepsilon'}{x'}\right). \qquad 34)$$

Differenzieren wir jetzt $n'\beta'(\cos\varepsilon_m' - \cos\varepsilon') = n(\cos\varepsilon - \cos\varepsilon_0)$, so erhalten wir

$$n'\beta'^2\left(\frac{\sin\varepsilon' - \sin\varepsilon_0'}{r} - \frac{\sin^2\varepsilon'}{x'} + \frac{\sin^2\varepsilon_0'}{x_0'}\right) = n\left(\frac{\sin\varepsilon - \sin\varepsilon_0}{r} + \frac{\sin^2\varepsilon_0}{x_0} - \frac{\sin^2\varepsilon}{x}\right). \qquad 35)$$

Insbesondere ergibt sich für die verzeichnungsfreie Abbildung zweier Ebenen ($r = r' = 0$) aufeinander, daß die Punkte

$$\left.\begin{aligned} x &= \frac{\cos^2 u}{\cos^2 u_0}\, x_0 \\ &\text{und} \\ x' &= \frac{\cos^2 u_0'}{\cos^2 u'}\, x_0' \end{aligned}\right\} \qquad 36)$$

einander zugeordnet sind, wo wieder $u = 90 - \varepsilon$ gesetzt ist. Wir erhalten so zu jedem Objektpunkt des ganzen Raums den zugehörigen tangentialen Bildpunkt auf jedem Strahl; d. h. wir kennen die Abbildung des ganzen Raums.

Die hier angedeuteten Betrachtungen lassen sich natürlich noch wesentlich verallgemeinern. Man bekommt aus der Ableitung der Kosinusbedingung allgemein zu jedem nicht in unserer Fläche gelegenen Punkt die durch das System vermittelte Bildkaustik.

Teil IV.

Überblick über die Geschichte der hier behandelten Probleme[1]).

1837. Wie bei fast allen optischen Fragen müssen wir zuerst die Arbeiten Hamiltons (1)[2]) erwähnen, der hier auch seiner Zeit um viele Jahre voraus war, dessen Arbeiten aber leider bald in Vergessenheit gerieten. Wie H. Boegehold in Czapski (3)[2]), *S. 224—225* nachwies, lassen sich z. B. die Straubelschen Sätze (I, (1)) aus den Formeln Hamiltons (S. 105) mit Leichtigkeit ableiten.

1855. L. v. Seidel (1) veröffentlicht seine Untersuchungen, die die Abweichungen dritter Ordnung längs der Achse eines optischen Systems behandeln. Er untersucht u. a. im Seidelschen Gebiet, d. h. unter Beachtung allein der Größen dritter Ordnung, die Bedingung dafür, daß ein Flächenelement um die Achse exakt abgebildet wird; (diese Bedingung bezeichnet er nach Fraunhofer) (diese Arbeit II, Gl. 19)). Er untersucht ferner die Bedingung dafür, daß zwei benachbarte Achsenpunkte abgebildet werden. Diese Bedingung wird wohl seit ihm Herschelsche Bedingung genannt, wiewohl Herschel (1) eine wesentlich andere Forderung ausgesprochen hatte, daß nämlich bei einem Fernrohr nicht nur der unendlich ferne Punkt, sondern auch ein im Endlichen gelegener Punkt ohne sphärische Abweichung abgebildet werden sollte (eine mit aplanatischer Abbildung wohl verträgliche Forderung).

1858 erscheint eine Arbeit von Maxwell (1). Er untersucht die aplanatische verzeichnungsfreie Abbildung einer Ebene in eine Ebene. Er beweist den Satz: Werden zwei achsensenkrechte Ebenenstückchen in obiger Weise abgebildet, so werden alle achsensenkrechten Ebenen verzeichnungsfrei aplanatisch abgebildet. Die so entstehende Raumabbildung ist ähnlich und die Vergrößerung gleich dem Quotienten $n' : n$ der Brechungsexponenten.

1862. Kirchhoff (1) untersucht das Emissions- und Absorptionsvermögen von Körpern und findet, daß beide gleich sind und daß die Intensität jeder Strahlung

$$J = n^2 J_0 \qquad 1)$$

ist, wo J_0 die Intensität ist, wenn der Körper sich im Vakuum befindet. Aus diesen Überlegungen folgt leicht folgender Satz für die Intensität der schwarzen Strahlung. Bestrahlen sich zwei (im Kirchhoffschen Sinn schwarze) Flächenelemente, die in verschiedenen Medien liegen, so entsteht nur dann Strahlungsgleichgewicht, wenn die Intensität des von einem Punkt des ersten Flächenelements ausgehenden Lichts am zweiten Flächenelement gleich der Intensität des von einem Punkt des zweiten Flächenelements ausgehenden Lichts am ersten Flächenelement ist.

1864 bringt Clausius (1) das soeben angedeutete Problem in Zusammenhang mit dem von ihm aufgestellten zweiten Hauptsatz der Thermodynamik. Er geht auch auf den von Kirchhoff nicht behandelten Fall ein, daß jeder Punkt des ersten Flächenelements in dem zweiten durch ein unendlich dünnes Bündel exakt abgebildet wird, und beweist, daß auch in diesem Fall, wenn man von den Lichtverlusten durch

---

[1]) Bei der Abfassung dieses Teils meiner Arbeit hat Herr Dr. Boegehold mich in reichstem Maße unterstützt. Ich möchte ihm an dieser Stelle meinen herzlichsten Dank aussprechen.

[2]) Die Klammerzahlen verweisen auf das Literaturverzeichnis am Schluß.

Reflexion und Absorption absieht, ein Reziprozitätsgesetz besteht. Für den Fall der Abbildung des Linienelements findet sich bei Clausius schon Gl. I, 12) dieser Arbeit.

1872/73 erscheint eine Arbeit von Abbe (1), in der er den Sinussatz für den Spezialfall, daß das Objekt im Brennpunkt des Systems liegt (*S. 52*), ausspricht. Das Wichtige an dieser Arbeit ist, daß hier zum ersten Male ein optisches Gesetz ausgesprochen wird, das für endliche Öffnungswinkel exakte Gültigkeit hat, und daß die Wichtigkeit dieses Gesetzes für die Konstruktion optischer Systeme bewußt erkannt wird.

1874 gibt Helmholtz (1) den ersten veröffentlichten Beweis für den Sinussatz. Sein Gedankengang ist etwa folgender: Er berechnet die Lichtmenge, die von einem Flächenelement und einem Achsenpunkt auf ein anderes Flächenelement und die Achse fällt. Besteht vollständige Abbildung, so gilt für die Helligkeit (wenn man von den Verlusten durch Reflexion und Absorption absieht)[1])

$$n^2 J = n'^2 J' \qquad 2)$$

und es folgt daraus, wenn die Apertur des Instruments durch α bzw. α' gegeben wird, aus der Definition der Lichtmenge

$$L = 2\pi J\, df \int_0^{\alpha} \cos\alpha \sin\alpha\, d\alpha = 2\pi J'\, df' \int_0^{\alpha'} \cos\alpha' \sin\alpha'\, d\alpha' \qquad 3)$$

der Sinussatz für die äußeren Aperturstrahlen. Da man die Blende beliebig zuschrauben kann, folgt er für alle Strahlen.

1879 veröffentlicht Abbe (2) skizziert seinen Beweis für den Sinussatz. Er gibt gleichzeitig an, was eintritt, wenn bei punktförmiger Abbildung des Achsenpunktes die Sinusbedingung nicht erfüllt ist. Durch jede Objektivzone wird vom Objekt ein Bild entworfen. Die Sinusbedingung ist die Bedingung dafür, daß alle Bilder gleich groß erscheinen. Ohne Beweis gibt Abbe gleichzeitig an, daß die Abbildung zweier benachbarter Achsenpunkte der Sinusbedingung widerspricht. Er behauptet außerdem, daß die korrekte Abbildung einer Ebene in einer Ebene unmöglich sei.

In der Arbeit wird eine Methode angegeben, um die Erfüllung der Sinusbedingung an vorhandenen optischen Systemen zu prüfen. Eine weitere wichtige Erkenntnis ist, daß Abbe sagt, daß die Erfüllung der Sinusbedingung für den Nachbarpunkt nicht Fehlerfreiheit gewährleistet, sondern nur das Verschwinden von Fehlern, die die gleiche Größenordnung haben, wie der Abstand des Punktes von der Achse.

1884 erscheint eine Arbeit von Hockin (1), in der eine Ableitung des Sinussatzes aus dem Fermatschen Satz gegeben wird. Es ist der Beweis, der mit der Conradyschen Verbesserung in dieser Arbeit (I, Kap. 2) auf den allgemeineren Fall übertragen wurde. Hockin stellt außerdem die Bedingung dafür auf, daß zwei benachbarte Achsenpunkte durch weitgeöffnete Bündel abgebildet werden (II, 2)). Gleichzeitig beweist er, daß beide Bedingungen auf der Achse nur für die Knotenpunkte miteinander verträglich sind.

1889 gibt Finsterwalder eine Arbeit von Seidel (2) aus dessen Nachlaß heraus, über die Seidel 1880 vorgetragen katte. Er beweist, daß im Seidelschen Gebiet der Sinussatz mit der Fraunhoferschen Bedingung übereinstimmt. Er zeigt auch, was im Seidelschen Gebiet bei Nichterfülluug der Sinusbedingung eintritt.

1889 gibt A. Steinheil (1) an, daß bei unendlich entferntem Gegenstande die

[1]) Helmholtz beweist Formel 2) für optische Instrumente, außer durch den Kirchhoffschen Satz, neu durch Zurückführung auf die Erfahrungstatsache, daß ein Objekt bei Betrachtung durch ein optisches System nicht heller erscheinen könnte.

Bildstrahlen eine Kugel von bestimmtem Radius in den Durchstoßpunkten der (evtl. verlängerten) Objektstrahlen schneiden.

1890 veröffentlichte M. Thiesen (1) eine Arbeit, in der er — ohne Hamilton zu kennen — von der Hamiltonschen Funktion

$$\mathfrak{T}_{12} = \sum_1^2 n\, s \tag{4}$$

ausgehend, eine Theorie der Seidelschen Fehler (ohne Kenntnis Seidels) entwickelt. Für dieses Gebiet schließt er, daß eine Abbildung eines Raumelements unmöglich, die Abbildung zweier endlicher Flächen möglich ist.

1892 erscheint eine Arbeit von Thiesen (2), die die allgemeine Form des Kosinusgesetzes für die aplanatische verzeichnungsfreie Abbildung zweier endlicher Ebenen in beliebigen (nicht notwendig rotationssymmetrischen) Systemen gibt. Die Beweisführung ist nicht auf das Seidelsche Gebiet beschränkt, sondern ganz allgemein. Es ergibt sich als Verallgemeinerung von III, 27) das Gleichungspaar

$$\left.\begin{aligned} n'\,\beta' \cos\varepsilon_m' - n\cos\varepsilon_m &= C_m\,. \\ n'\,\beta' \cos\varepsilon_s' - n\cos\varepsilon_s &= C_s\,. \end{aligned}\right\} \tag{5}$$

In einer im gleichen Jahr erschienenen Arbeit (3) diskutiert Thiesen noch einmal die Möglichkeit der aplanatischen Abbildung zweier endlicher Flächen aufeinander.

1893 erschien die erste Auflage des Buches von S. Czapski (1). Hier findet sich außer den schon besprochenen Ableitungen für den Sinussatz auch ein Beweis dafür, daß die meridionalen Bilder entlang jedem Strahl auch die durch die Sinusbedingung vorgeschriebene Größe haben (siehe den in dieser Arbeit für die Isoplanasiebedingung durchgeführten Beweis).

1895 erschien die Arbeit von Bruns (1) über das Eikonal. Mit Methoden, die der Theorie der Berührungstransformationen angehören, beweist Bruns zunächst, daß die punktförmige Abbildung eines Raumelements eine geometrisch ähnliche Abbildung ist (siehe I, Kap. 2, 3). Dann leitet er, ohne Thiesen zu erwähnen, die Gl. 5) und zwar für die nicht notwendig verzeichnungsfreie Abbildung zweier beliebiger endlicher Flächen (nicht Ebenen) aufeinander ab und diskutiert dieselbe. Er findet dabei, daß immer eine Richtung im Objekt- und Bildraum existiert, für die gilt

$$n'\,\beta_t' \cos\varepsilon_t' = n\cos\varepsilon_t\,, \tag{6}$$

(bei aplanatischer Abbildung in Rotationssystemen ist diese Richtung die sagittale Richtung)

und zwar für alle Strahlen, die von einem Punkt ausgehen (vgl. I, Gl. 51) dieser Arbeit). Aus diesem allgemeinen Satz 6) wird der Sinussatz abgeleitet. Zum Schluß wird eine Funktion konstruiert (das zum System gehörige Eikonal), die im Fall aplanatischer Abbildung einer Fläche die Lage von Objekt- und Bildstrahlen angibt. Die Brunsschen Untersuchungen beschränken sich nicht auf rotationssymmetrische Systeme.

1899 gibt A. Kerber (1) eine neue Ableitung der Übereinstimmung der Fraunhoferschen Bedingung mit der Sinusbedingung.

1901 wies F. Klein (2) darauf hin, daß man zu den Brunsschen Ergebnissen elegant mit Hilfe der Hamiltonschen Methoden gelangen kann.

Im gleichen Jahre gibt F. Klein (1) einen neuen Beweis dafür, daß jede exakte Abbildung eines räumlichen Elements eine Ähnlichkeitstransformation ist, und zwar ist der Vergrößerungsfaktor gleich dem Quotienten der Brechungsexponenten in Objekt- und Bildraum.

1902. Die Arbeit von Straubel (1) formuliert den hier in Kap. I, 1) aufgestellten Satz auch für den Fall, daß keine Abbildung der Punkte des Ausgangsflächenelements vorhanden ist, und bringt diese Sätze für die Abbildung eines Linienelements durch ein ebenes dünnes Büschel. Er weist vor allem darauf hin, daß diese Sätze rein geometrischer Natur sind und fordert im Gegensatze zum Beweis von Helmholtz (1) einen geometrischen Beweis. Daran knüpft sich durch Integration für ebene Büschel ein Beweis einer Verallgemeinerung des Sinussatzes für ebene Büschel.

1903 untersucht Gleichen (1) die Koma für den Fall, daß die sphärische Abweichung nicht gehoben ist. Seine Untersuchung ist rechnerisch für den Fall der Plankonvexlinse durchgeführt. Allgemein behauptet er folgendes, was mit unseren Untersuchungen im Einklang steht. Zu jedem Punkt in der Umgebung der Achse gibt es bildseitig nach unserer Theorie eine Kaustik, die (bis auf Größen höherer Ordnung) rotationssymmetrisch um eine Kurve liegt. Bei Beschränkung auf das Seidelsche Gebiet (kleine Öffnung) kann man die Kaustik als rotationssymmetrisch um den durch die kaustische Spitze gehenden Strahl annehmen. Den Schnittpunkt dieser Rotationsachsen bezeichnet Gleichen als die „natürliche Blende“ des betrachteten Systems. Er nimmt jedoch irrtümlich an, daß auch bei endlich entfernten Objektpunkten und kleiner Blende rotationssymmetrische Kaustiken entstehen[1]), und betrachtet dann die Wanderung der zugehörigen Blende, die er irrtümlich auf der Achse annimmt. Wie wir im Teil III dieser Arbeit sahen, gibt es nur bei homöoplanatischer Abbildung zu jedem Punkt eine rotationssymmetrische Kaustik, und alsdann wandern die meridionalen Blendenpunkte auf der von uns Hauptstrahlenkaustik genannten Fläche, während nur die sagittalen Blendenpunkte auf der Achse wandern.

Im selben Jahre erscheint eine Arbeit von Gleichen (2), die eine Verallgemeinerung der Straubelschen Sätze für anisotrope Medien bringt.

1904 erschien eine ausführliche Dissertation von Blanckmeister (1), die in etwas ungewöhnlicher Form (die Differenz der Kosinus in der Teil I, Formel 39) entsprechenden Formel für den betrachteten Spezialfall ist in ein Produkt von Sinus zusammengehöriger Winkel verwandelt) die Bedingung für die Abbildung zweier beliebiger Linienelemente, die einen Achsenpunkt enthalten, bringt. Zum Beweis ist der Fermatsche Satz benutzt. Blanckmeister entwickelt die Spezialfälle der Abbeschen und Hockinschen Gleichung, erkennt aber nicht, wie in Teil II, Kap. 1, daß andere Arten der Abbildung unmöglich sind. Am Schluß der Arbeit findet sich ein ausführlicher historischer Überblick über die Geschichte der Sinusbedingung.

Im gleichen Jahre erschien das Lehrbuch von Czapski (2) (2. Aufl.). Die uns interessierenden Fragen werden *S. 132—134, S. 155—164* behandelt. Hier wird ein neuer Beweis für den Sinussatz gegeben. Verf. hat gegen den Beweis Bedenken, da er bei Gültigkeit der Sinusbedingung die Abbildung eines Flächenelements um den Nachbarpunkt beweisen will, eine Forderung, die, wie Teil III, Kap. 3 dieser Arbeit lehrt, sicher nicht allgemein erfüllt ist.

Der Beweis stützt sich auf einen Satz von Lippich, der vom Verfasser schon a. a. O. (Herzberger (3)) in Frage gestellt wurde. Die bekannten Beweise werden mit Ausnahme des Helmholtzschen Beweises angeführt.

Weiter findet sich hier zum erstenmal die allgemeine Bedingung für die punktweise Abbildung eines Linienelements, und zwar in der Form von Teil I, Gl. 30) mit

---

[1]) Auch bei Beschränkung auf kleine Blenden kann man nicht allgemein einem Objektpunkt eine rotationssymmetrische Kaustik zuordnen.

dem einzigen Unterschied, daß an Stelle des Winkels von Strahl gegen die Linienelemente der Winkel gegen die Normale angegeben ist.

Der Beweis ist allerdings nur für die Abbildung von Linienelementen in der Meridianebene durch in der Meridianebene verlaufende Strahlen gegeben, ebenso wie für die Meridianstrahlen eine Verallgemeinerung der Hockinschen Gleichung gefunden wurde (Czapski (2), *S. 133*); er ist mit Hilfe der Straubelschen Sätze und auch mit Hilfe des Fermatschen Satzes durchgeführt. *S. 159—160* werden die zitierten Arbeiten von Klein, Thiesen, Bruns u. a. m. besprochen, die sich auf das Eikonal stützen.

Trozewitsch (1) bewies im gleichen Jahre, daß bei aplanatischer Abbildung zusammengehörige Strahlen auf einer Kugel sich schneiden (eine Verallgemeinerung der Steinheilschen Konstruktion von 1898). Er leitet die Gleichung dieses Kreises analytisch ab. Siehe diese Arbeit Teil II, Kap. I, 1b, Formel 20).

1905 erscheint eine Arbeit von Conrady (1), in der die Sinusbedingung auf sphärisch nicht korrigierte Systeme ausgedehnt wird. Hier ergibt sich bei Erfüllung der Sinusbedingung, daß die Nachbarkaustik aus der axialen Kaustik durch Parallelverschiebung hervorgeht. Der Beweis von Conrady ist dadurch bemerkenswert, daß hier zuerst eine Zuordnung der Strahlen vom Objektpunkt und vom Nachbarpunkt vorgenommen wird, und zwar mit Hilfe einer ringförmigen Blende, indem die Strahlen von Objekt- und Nachbarpunkt, die durch einen Punkt dieser Blende gehen, einander zugeordnet werden. Diese Fortführung der Beweismethode von Hockin ist wesentlich befriedigender. Sie wird im folgenden häufiger benutzt werden (s. auch I, Kap. II, § 1 dieser Arbeit).

1906 bildet Gleichen (3) die Theorie der natürlichen Blende weiter aus. Den Strahl, der durch die Spitze der Nachbarkaustik geht, nennt Gleichen den zum Nachbarpunkt gehörenden Fundamentalstrahl; er geht durch die natürliche Blende. Gleichen gibt Methoden zur Berechnung der natürlichen Blende im Seidelschen Gebiet an.

1907 gibt Staeble (1) ein praktisches Kriterium für das Verschwinden der Koma bei sphärisch nicht korrigierten Systemen. Die sphärische Abweichung muß proportional der Abweichung von der Sinusbedingung sein. Diese Bedingung wurde von ihm zuerst Koinzidenzkriterium genannt. Er beweist, daß im Seidelschen Gebiet die Proportionalität die Aufhebung der Koma gewährleistet. Dadurch wird ein Ort für die Blende festgelegt. Staeble deutet an, daß er an die Gültigkeit dieser Beziehung über den Seidelschen Bereich hinaus glaubt.

1908 gibt Kerber (2) eine elementare Ableitung der Kosinusbedingung für die Neigung der Strahlen gegen die sagittale Richtung bei vollständiger Abbildung eines außeraxialen Punktes (siehe II, Kap. II, § 1, Formel 51)).

1910 behandelt Chalmers (1) auch die Koma im Seidelschen Gebiet und beweist für Achsenpunkte den Zusammenhang zwischen Koma und Sinusbedingung; außerdem leitet er für außeraxiale Punkte im Gebiet der Aberrationen fünfter Ordnung für Meridianstrahlen die Kosinusbedingung Teil II, Formel 61) unter Voraussetzung vollständiger Abbildung des außeraxialen Punktes ab.

Im gleichen Jahr zeigt Gleichen (4), daß die von Trozewitsch angegebene Konstruktion zusammengehöriger Strahlen bei Gültigkeit der Sinusbedingung auf den apollonischen Kreis führt, der die Strecke PP' im Verhältnis $n : n'\beta'$ teilt.

1916 gab Liebmann (1) einen neuen Beweis des Brunsschen Satzes, daß ein Raumelement in einem optischen System nur ähnlich und zwar mit der Vergrößerung $\frac{n}{n'}$ abgebildet werden kann. Sein Beweis ist rein geometrisch und geht direkt auf den Malusschen Satz zurück. Er beweist den Satz auch für den Fall, daß Objekt- und Bildraum isotrop, die Zwischenmedien jedoch anisotrop sind.

1919 veröffentlicht Lihotzky (1) den ersten Beweis für die Staeblesche Vermutung, daß auch bei endlichen Öffnungen für das Verschwinden der Koma bei vorhandener sphärischer Aberration eine Proportionalität zwischen sphärischer Abweichung und Fehlern gegen die Sinusbedingung bestehen muß. Das Verschwinden der Koma setzt Lihotzky gleich mit der Bedingung, daß die Nachbarkaustik symmetrisch sei. Er beschränkt sich beim Beweis auf die Strahlen in der Meridianebene, indem er unter Benutzung des Lagrange-Helmholtzschen Satzes die Bildgrößen in den Punkten der dem axialen Punkt entsprechenden Kaustik berechnet.

Gleichzeitig gab F. Staeble (2) einen ausführlicheren Beweis obigen Satzes. Er nannte die Bedingung für komafreie Abbildung Isoplanasiebedingung (von ισος πλαναω — gleichmäßig abweichen) bzw. Proportionalitätsbedingung. Die Forderung war wieder die, daß die Nachbarkaustik der axialen Kaustik kongruent sei. Staeble betrachtet nicht nur die Meridianstrahlen, sondern auch die windschief zur Achse verlaufenden Strahlen vom Nachbarpunkt. Sein Beweis benutzt wesentlich den vom Verfasser angezweifelten Lippichschen Satz. Staeble zeigt weiter, daß bei erfüllter Isoplanasiebedingung die Lote von den Pupillen auf zusammengehörige Strahlen ein konstantes Verhältnis haben, und zwar ist der Proportionalitätsfaktor gleich der Vergrößerung am Blendenort (siehe II, Kap. II, § 2 Gl. 46)). Sein Beweis gilt auch für den Fall, daß objektseitig kein Dingpunkt, sondern schon eine Kaustik vorhanden ist.

1919/20 gab v. Ignatowsky (1) in einer in russischer Sprache erschienenen Arbeit die von uns (Kap. II, § 2) als erste Konstruktion bezeichnete Zuordnung der Objekt- und Bildstrahlen bei erfüllter Sinusbedingung. Diese Konstruktion wurde von ihm verallgemeinert für den Fall der verzeichnungsfreien aplanatischen Abbildung zweier endlicher Ebenen aufeinander. Es gibt dann zwei Kugeln derart, daß man Objekt- und Bildstrahlen, die einen außeraxialen Punkt abbilden, einander so zuordnen kann, als ob zwischen den Kugeln achsenparalleler Strahlengang herrschte. Eine in der Arbeit ausgesprochene Vermutung, als ob obige Tatsache mit der Eigenschaft der Kugel als Wellenfläche zu tun hätte, wird in dieser Arbeit durch Weiterführung seiner Konstruktion auf den Fall der isoplanatischen bzw. den Fall der nicht verzeichnungsfreien Abbildung widerlegt. Die Annahme v. Ignatowskys, daß sein Satz dem Brunsschen Kosinussatz widerspräche, ist irrtümlich. Der Brunssche Kosinussatz gilt nicht, wie v. Ignatowsky meint, nur für Sagittalstrahlen, sondern für die Winkel aller Strahlen mit der Sagittalrichtung.

v. Ignatowsky weist noch besonders darauf hin, daß der Sinussatz keine Aussage über die Krümmung der abgebildeten Flächenelemente enthält. Nach einem deutschen Bericht v. Ignatowskys, der hier benutzt wurde, war obige Arbeit bereits 1916 abgeschlossen.

1920 überträgt Gleichen (4) den Lihotzkyschen Beweis für die Isoplanasiebedingung auf den Fall, daß objektseitig sphärische Aberration vorhanden ist. Er stellt gleichzeitig fest, daß die isoplanatische Blende der Mittelpunkt der natürlichen Blende ist; hierdurch wird der Zusammenhang mit Gleichens früheren Arbeiten hergestellt.

1921 gibt Gouy (1) eine neue interessante Ableitung des Sinussatzes, sowie der Hockinschen Forderung. Er betrachtet die von Objektpunkt und Nachbarpunkt ausgehenden Wellenflächen, die einen Achsenpunkt gemeinsam haben. Eine einfache Rechnung ergibt, daß, wenn die Wellenfläche dieses Achsenpunktes bildseitig eine Kugel ist, sich die Wellenfläche des Nachbarpunktes nur dann auf eine Kugel reduzieren kann, wenn entweder die Sinusbedingung oder die Hockinsche Gleichung erfüllt ist, oder wenn ein Raumelement in den Knotenpunkten exakt abgebildet wird. Die sehr elegante Methode erlaubt es auch (Gouy 2, 3), den Komafehler bei nicht gehobener Abweichung abzuleiten.

1922 gibt Labussière (1) eine Ausdehnung der Straubelschen Sätze. Sei eine beliebige Fläche gegeben. Von jedem ihrer Punkte gehe ein Strahlenkegel vom endlichen Öffnungswinkel Ω aus. Betrachten wir eine beliebige, nicht notwendig im selben Medium gelegene Fläche, die nur so beschaffen sein muß, daß sie alle Strahlen in einer ungeraden Anzahl von Punkten schneidet, so ist

$$\iint\limits_F n^2 df \iint\limits_\Omega \cos\alpha \, d\Omega = L \qquad 7)$$

eine Konstante. Hier ist α der Winkel, den ein Strahl mit der Flächennormalen bildet.

Ebenso ist für das ebene Problem für beliebige, alle Strahlen in einer ungeraden Anzahl von Punkten schneidende Kurven die Größe

$$\int\limits_{\mathfrak{C}} n \, dl \int \sin\varepsilon \, d\varepsilon = L \qquad 8)$$

eine Konstante. Hier ist ε der Winkel zwischen Strahl und Kurventangente im Durchstoßpunkt. Labussière nennt obigen Ausdruck den geometrischen Fluß.

Im gleichen Jahre findet sich in einer Arbeit von Chrétien (1) die aus dem Satz von Trozewitsch folgende Bemerkung, daß eine einzige Fläche nur dann aplanatisch sein kann, wenn sie eine Kugelfläche ist.

1922/23 veröffentlicht T. Smith (1) eine Arbeit, in der eine weitere Verallgemeinerung des Brunsschen Kosinussatzes bewiesen wird. Seine Aussage lautet wie folgt. Gegeben sei je eine Richtung in Objekt- und Bildraum. Betrachten wir die Gesamtheit der Strahlen, deren Winkel mit diesen Richtungen in Objekt- und Bildraum einer Gleichung der Form

$$n' \beta' \cos\varepsilon' - n \cos\varepsilon = q \qquad 9)$$

genügen, so entspricht einer im Objektraum um die infinitesimale Strecke σ in der gewählten Richtung verschobenen Strahlenmannigfaltigkeit bildseitig eine kongruente um die Größe

$$\sigma' = \beta' \sigma \qquad 10)$$

in der im Bildraum gegebenen Richtung verschobene Strahlenmannigfaltigkeit.

Der Versuch, Gleichung 9) auch als hinreichend für eine derartige Abbildung hinzustellen, ist nicht geglückt, da T. Smith zu Unrecht annimmt, daß eine dreifach unendliche Geradenschar (um eine solche handelt es sich bei obigem Satz) eine Kaustik umhüllt. Ebenso hat Smith keine Berechtigung, aus seinem Satz das Brechungsgesetz, Sinusgesetz, die Hockinsche Gleichung abzuleiten, da es sich dort immer nur um zweifach unendliche Strahlenmannigfaltigkeiten handelt. Zum erweiterten Sinusgesetz (verzeichnungsfreie Abbildung einer endlichen Fläche) ist zu bemerken, daß für die symmetrischen Systeme die Konstante in der sagittalen Richtung verschwindet.

1923 erschien eine ausführliche Besprechung des obigen Satzes vom Verfasser (Herzberger (1)). Die dort zum Beweis der Notwendigkeit obiger Bedingung er-

hobenen Bedenken lassen sich, wie ich in einer mir zugänglich gewordenen unveröffentlichten Jenaer Staatsexamensarbeit von Herrn Dr. Lucke aus dem Jahre 1928 entnehme, leicht entkräften.

1924 erschien die dritte Auflage des Werkes von S. Czapski (3). Hier sind von H. Boegehold auf den *S. 213—233, 246—258, 274—276* und von O. Eppenstein auf *S. 173—178* die in unser Gebiet fallenden Fragen ausführlich behandelt.

Neu ist darin die Ableitung der Kosinusbedingung für Abbildung eines Linienelements nach dem Conradyschen Verfahren; ein Beweis, der wohl als der einfachste und korrekteste gelten kann. Es werden nun umgekehrt aus dem Kosinussatz die verschiedenen speziellen Formulierungen, die sich bei Thiesen, Bruns, Gouy, Kerber finden, abgeleitet, außerdem gezeigt, daß man durch Differentiation in dem entsprechenden Fall die Straubelsche Formel erhält. Als Spezialfall ergibt sich *S. 275* eine Verallgemeinerung der Hockinschen Bedingung auch für nicht in der Meridianebene gelegene Strahlen, die Gültigkeit hat, wenn ein Linienelement abgebildet wird und ein Strahl existiert, der objekt- wie bildseitig dies Linienelement berührt (siehe I, Formel 36)).

Im gleichen Jahr erscheinen zwei Arbeiten von H. Boegehold (2, 3). Die erste (2) gibt für den Fall der scharfen Abbildung eines Linienelements einen auf dem Conradyschen Verfahren beruhenden, aber etwas abweichenden Beweis des Kosinussatzes, der die Wellenfläche der durch einen Punkt der Blende gehenden Hauptstrahlen benutzt für zweifach unendliche Mannigfaltigkeiten und seine Umkehrung (bis auf Größen höherer Ordnung). Boegehold bemerkt hier, daß der Satz auch bei einfach unendlichen Strahlensystemen (linienförmige Blende) gilt. Zur Smithschen Arbeit äußert Boegehold Bedenken, ob der für dreifach unendliche Strahlensysteme gültige Satz auch für zweifach unendliche Teilsysteme gilt.

Die zweite im selben Jahr erschienene Arbeit von H. Boegehold (3) gibt den ersten analytischen Beweis dafür, daß ein Raumelement nur ähnlich, mit der Vergrößerung $n:n'$ abgebildet werden kann.

1925 erwidert Smith (2) auf die vorgebrachten Bedenken (dtsch. übersetzt 1927 von A. Driesen). Sein Beweis, daß eine dreifache Strahlenmannigfaltigkeit eine Fläche umhüllt, ist inkorrekt. Wie Herr Dr. Lucke in der oben zitierten Arbeit bemerkt und an einem praktischen Beispiel aufzeigt, führt die von Smith vorgeschlagene Elimination tatsächlich nicht zu der Gleichung einer Fläche, sondern zu einer im allgemeinen nicht erfüllten Bedingungsgleichung für die Konstanten, da die Unbekannten herausfallen. Boegehold setzt in einer zusätzlichen Mitteilung noch einmal deutlich auseinander, weshalb seiner Meinung nach man aus der Gültigkeit des Kosinussatzes für dreifach unendliche Strahlensysteme nichts für die optisch wichtigen zweifach unendlichen Strahlensysteme aussagen kann.

Im gleichen Jahr veröffentlicht H. Boegehold (4) eine elegante Ableitung der Staeble-Lihotzkyschen Bedingung aus dem Kosinussatz.

1926 beweist C. Carathéodory (1) eine wesentliche Verallgemeinerung des Bruns-Kleinschen Satzes. In einem absoluten optischen Instrument (einem Instrument, das alle Punkte eines Raumelements exakt abbildet; der Brechungsindex der in Betracht kommenden Medien kann dabei kontinuierlich veränderlich sein) sind die optischen Längen zweier beliebiger abgebildeter Kurven, die so beschaffen sind, daß es Lichtstrahlen gibt, die die Kurven objekt- und bildseitig in zugeordneten Punkten berühren, einander gleich.

Außerdem beweist er den Satz: Wird ein Flächenelement scharf abgebildet und liegt dies Flächenstück so, daß für jeden Punkt einer Flächenkurve ein Strahl existiert,

der sie im Objekt und Bildraum berührt, so sind die optischen Weglängen von Kurven, die aus konjugierten Punkten bestehen, gleich.

Er beweist ferner, daß die anastigmatische Abbildung zweier isotroper (nicht homogener) Räume entweder eine Ähnlichkeitstransformation ist, oder eine Transformation durch reziproke Radien, oder eine Zusammensetzung beider Abbildungen.

In der Arbeit findet sich noch eine schöne Analyse der scharfen Abbildung zweier Flächenelemente (s. Teil I, Kap. II, 2 dieser Arbeit), sowie der Satz, daß es im allgemeinen nur vier Strahlen geben kann, die Objekt- und Bildelement gleichzeitig berühren, mit Ausnahme des oben untersuchten Falles, daß alle Strahlen diese Eigenschaft haben.

1927 wird die Smithsche Arbeit von A. Driesen übersetzt. Herzberger (2) veröffentlicht eine Note hierzu, in deren zweitem Teil er nachweist, daß eine dreifach unendliche Strahlenmannigfaltigkeit im allgemeinen keine Brennfläche besitzt. Die speziellen Strahlensysteme, die diese Eigenschaft trotzdem haben, behalten sie bei einer Brechung nicht. Er fordert, daß der Kosinussatz allgemein für zweifach unendliche Strahlensysteme bewiesen wird, woraus dann der Beweis für zweifach unendliche Strahlensysteme folgt. Der in Nr. 1 der Arbeit unternommene Beweisversuch ist inkorrekt.

Im gleichen und folgenden Jahre erscheinen als Ankündigungen dieser Zusammenstellung einige Arbeiten von M. Herzberger (4, 5, 6), deren Resultate gemeinsam mit E. Lihotzky gefunden wurden.

1928 erscheint eine Arbeit von H. Boegehold (5) und M. Herzberger (7), die zwei exakte Beweise für die Gültigkeit des Kosinusgesetzes bei bildseitig kongruenten Kaustiken angibt, unter der Annahme, daß objektseitig alle Strahlen jedes Bündels von einem Punkt ausgehen.

Literaturverzeichnis.

Abbe, E. (1): Über die Bedingungen des Aplanatismus der Linsensysteme. Sitz.-Ber. d. Jenaer Ges. f. Med. u. Naturw. *1879, S. 129—142 (28. XI. 79); Ges. Abhandl.* ***1.*** *S. 213—226.*

Abbe, E. (2): Beiträge zur Theorie des Mikroskops und der mikroskopischen Wahrnehmung. Max Schultzes *Arch. f. mikroskop. Anat.* ***9.*** *413—468. 1873; Ges. Abhandl.* ***1.*** *S. 45—100.*

Blanckmeister, M. (1): Über die Hamiltonsche Funktion als Grundlage der geometrischen Abbildungstheorie, insbesondere über die Herleitung der allgemeinsten Bedingung der aberrationsfreien Abbildung von Punktpaaren. *Dissert. Rostock, C. Hinstorff 1904, 53 S.*

Boegehold, H. (1) in S. Czapski und O. Eppenstein, Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. J. A. Barth, Leipzig 1924. *S. 213—233; S. 246—258; S. 274—276.*

Boegehold, H. (2): Zum Kosinussatze von A. E. Conrady und T. T. Smith. *Central-Zeitg. f. Opt. u. Mech. 1924, S. 107—108.*

Boegehold, H. (3): Weitere Bemerkungen zum Kosinussatze. *Central-Zeitg. f. Opt. u. Mech. 1924, S. 295—296.*

Boegehold, H. (4): *Note on the Staeble and Lihotzky (1) condition. Trans. Opt. Soc. 1924/25. S. 287—288.*

Boegehold, H. (5) und M. Herzberger: (7): Zum allgemeinen Kosinussatz. *Ztschr. f. Phys. 1928,* **51.**

Bruns, H.: Das Eikonal. *Leipz. Sitz.-Ber.* ***21.*** *S. 321—436. 1895.* Auch als Sonderabzug bei S. Hirzel, Leipzig 1895. 8⁰. 113 S.

Carathéodory, C. (1): Über den Zusammenhang der Theorie der absoluten optischen Instrumente mit einem Satz der Variationsrechnung. *Münch. Sitz.-Ber. 1926, S. 1—18.*

Chalmers, S. D. (1): *The sine condition in relation to the coma of optical systems. Phil. Mag. (6)* ***19.*** *S. 356—365. 1910.*

Clausius, R.: Über die Concentration von Wärme und Lichtstrahlen und die Gränzen ihrer Wirkung. *Pogg. Ann.* ***121.*** *S. 1—44. 1864.* Abb. 1—7 auf Tafel 1.

Conrady, A. E. (1): *The optical sine condition. Monthly Notices* ***65.*** *S. 501—509. 1905.*

Chrétien, H. (1): *Le télescope de Newton et le télescope aplanétique. Rev. d'Opt.* ***1.*** *S. 13—22; S. 49—64. 1922.* Bespr. v. H. Boegehold, *Centralz. f. Opt. u. Mech.* ***43.*** *S. 227—228. 1922.*

Czapski, S. (1): Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. E. Trewendt, Breslau 1893.

Czapski, S. (2): Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente nach Abbe. 2. Aufl. unter Mitarb. d. Verf. u. m. Beitr. von M. v. Rohr, herausgegeb. von Dr. O. Eppenstein. 176 S. Joh. Ambr. Barth, Leipzig 1904.

Czapski, S. (3) Eppenstein: Grundzüge der Theorie der optischen Instrumente. Joh. Ambr. Barth, Leipzig 1924. 747 S.

Gleichen, A. (1): Die Blendenstellung bei zentrierten optischen Systemen endlicher Öffnung. *Verh. d. dtsch. Physik. Ges.* ***5.*** *S. 193—203. 1903.*

Gleichen, A. (2): Über einen allgemeinen Satz der geometrischen Optik. *Physik. Zeitschr.* ***4.*** *S. 226—227. 1903.*

Gleichen, A. (3): Über die wichtigsten Fehler des monochromatischen Strahlenganges durch zentrierte Systeme und die Mittel zu ihrer Hebung. *Mechaniker* ***14.*** *S. 135—138; S. 153—155; S. 162—165; S. 175—177; S. 187—189. 1906.*

Gleichen, A. (4): Notizen über aplanatische Systeme. *Mechaniker* ***18.*** *S. 169—171, 188—190. 1910.*

Gleichen, A. (5): Über isoplanatische Korrektion. *Centralz. f. Opt. u. Mech.* ***41.*** *S. 380—382. 1920.*

Gouy, G. (1): *Sur l'aplanétisme et la condition des sinus. Compt. Rend.* ***172.*** *S. 419—423. 1921.*

Gouy, G. (2): *Sur l'aplanétisme imparfait et le calcul du coma. Compt. Rend.* ***172.*** *S. 632—636. 1921.*

Gouy, G. (3): *Sur le calcul du coma. Compt. Rend.* ***172.*** *S. 827—828. 1921.*

Hamilton, W. R. (1): *Third supplement to an essay on the theory of systems of rays. Transact. Roy. Irish Acad. 1837,* ***5—9.*** *S. 1—144. 1837.*

Helmholtz, H. (1): Die theoretische Grenze für die Leistungsfähigkeit der Mikroskope. *Pogg. Ann. 1874, S. 557—584.*

Herschel, J. F. W. (1): *On the aberrations of compound lenses and object-glasses. Phil. Trans.* ***111.*** *S. 222—267. 1821.*

Herzberger, M. (1): Bericht über "*The optical cosine law*" von T. Smith. *Central-Zeitg. f. Opt. u. Mech.* ***44.*** *S. 211—212. 1923.*

Herzberger, M. (2): Bemerkungen zu der Abhandlung von T. Smith. *Central-Zeitg. f. Opt. u. Mech.* ***48.*** *S. 231—232. 1927.*

Herzberger, M. (3): Die Gesetze erster Ordnung in optischen Systemen. *Zeitschr. f. Phys.* ***45.*** *S. 86—96. 1927.*

Herzberger, M. (4): Über homöoplanatische Abbildung in optischen Systemen. *Zeitschr. f. angew. Math. u. Mech.* ***7.*** *S. 455—457. 1927.*

Herzberger, M. (5): *Some remarks on an extension of the optical cosine law. Transact. Opt. Soc. 1927/28, S. 142—145.*

Herzberger, M. (6): Über die gleichmäßige Abbildung einer Fläche durch optische Systeme. *Die Naturwiss. 1928.* ***16.*** *S. 507—511. 1928.*

Hockin, Ch. (1): *On the estimation of aperture in the microscope. Journ. Roy. Mir. Soc. (2)* ***4.*** *S. 337—346. 1884. 14. VI. 1882.*

Ignatowsky, W. von (1): Zusammenhang der geometrischen Optik mit der Wellenoptik und die Beugung des homozentrischen Strahlenbündels. *Nachr. des Opt. Staatsinst.* ***1.*** *Heft 3. 1919. Petersburg.* [Russisch.]

Kerber, A. (1): Beiträge zur Dioptrik. Fünftes Heft. G. Fock, Leipzig 1899. 8⁰. 16 S.

Kerber, A. (2): Einige Bemerkungen zu den optischen Durchrechnungsformeln. *Mechaniker.* ***16.*** *S. 13—15; S. 28—29. 1908.*

Kirchhoff, G. (1): Über das Verhältniß zwischen dem Emissionsvermögen und dem Absorptionsvermögen der Körper für Wärme und Licht. *Ges. Abhandl. S. 571—598; Ostr. Klass. 100. S. 11—36.*

Klein, F. (1): Über das Brunssche Eikonal. *Zeitschr. f. Math. u. Phys.* ***46.*** *S. 372—375. 1901.*

Klein, F. (2): Räumliche Kollineation bei optischen Instrumenten. *Zeitschr. f. Math. u. Phys.* ***46.*** *S. 376—382. 1901.*

Lagrange, J. de (1): *Sur une loi générale d'optique. Mém. de Berlin 1803, 3—12, abg. Œuvres de Lagrange. Tome V.* Gauthier Villars, Paris 1870. 720 S. *S. 701—710.*

Labussière, M. (1): *Existence géométrique d'un invariant général des faisceaux de rayons se réfractant suivant la loi de Descartes et ses applications à l'optique géométrique et au rayonnement. Compt. Rend.* ***174.*** *S. 675—677. 1922.*

Liebmann, H. (1): Der allgemeine Malussche Satz und der Brunssche Abbildungssatz. *Münch. Sitz.-Ber. 1916, S. 183—200 (4. XI. 16).*

Lihotzky, E. (1): Verallgemeinerung der Abbeschen Sinusbedingung (als Bedingung für das Verschwinden der Koma in der unmittelbaren Nachbarschaft der Achse) für Systeme mit nicht gehobener Längenabberation. *Wiener Sitz. Ber.* ***128.*** *S. 85—90. 1919. (6. III. 19).*

Maxwell, J. C. (1): *On the general lars of optical instruments. Anart. Journ. of pure and appl. Math. II, 1858 S. 233—246. Scrient. pap. I, S. 271—285.*

Rohr, M. v.: Die Theorie der optischen Instrumente. I. Band: Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten. J. Springer, Berlin 1904.

Seidel, L. v. (1): Zur Dioptrik. *Astron. Nachr. 1856, S. 289—304; S. 305—320.*

Seidel, L. v. (2): Über die Bedingungen möglichst präziser Abbildung eines Objekts von endlicher scheinbarer Größe durch einen dioptrischen Apparat. Aus dem Nachlaß herausgeg. von S. Finsterwalder. *Münch. Sitz.-Ber. 1898, S. 395—422.*

Smith, T. (1): *The optical cosine law. Trans. Opt. Soc.* ***24.*** *S. 31—40. 1922/23.*

Smith, T. (2): *Note on the cosine law. Trans. Opt. Soc.* ***25.*** *S. 281—286. 1924/25.* Übersetzt von A. Driesen. *Central-Zeitg. f. Opt. u. Mech. 1927, S. 217—219.* S. hierzu Herzberger (2).

Staeble, F. (1): Über den Zusammenhang von Koma und Sinusbedingung bei sphärisch nicht korrigierten Systemen. *Diese Zeitschr.* ***27.*** *S. 241—249. 1907.*

Staeble, F. (2): Isoplanatische Korrektion und Proportionalitätsbedingung. (Zur Bedeutung der Abbeschen Sinusbedingung bei sphärisch nicht korrigierten Systemen endlicher Öffnung.) *Münch. Sitz.-Ber. 1919, S. 163—196.*

Steinheil, H. A. (1): Über den Einfluß der Objectivconstruktion auf die Lichtvertheilung in seitlich von der optischen Achse gelegenen Bildpunkten von Sternen bei zweilinsigen Systemen. *Münch. Sitz.-Ber. 1889, S. 413—435 (7 Tfl.).*

Straubel, R. (1): Über einen allgemeinen Satz der geometrischen Optik und einige Anwendungen. *Physikal. Zeitschr.* ***4.*** *S. 114—117. 1902/3.*

Thiesen, M. (1); Beiträge zur Dioptrik. *Berl. Sitz.-Ber. 1890, S. 799—813.*

Thiesen, M. (2): Über vollkommene Diopter. *Verh. d. D. Physikal. Ges.* ***11.*** *S. 15—17. 1892. Wied. Ann.* ***45.*** *S. 821—823. 1892.*

Thiesen, M. (3): Über die Construction von Dioptern mit gegebenen Eigenschaften. *Wied. Ann.* ***45.*** *S. 823—824. 1892.*

Trozewitsch, S. (1): Zur Frage über das aplanatische System. *Zeitschr. f. Math. u. Phys.* ***51.*** *S. 100—104. 1904.*

Die Abhängigkeit der sphärischen Aberration der Meridianstrahlen von der Lage des Objektes und der Eintrittspupille.

Von

E. Jachontow in Leningrad.

Es sei AB (Abb. 1) die optische Achse eines sich in der Luft befindlichen Systems sphärischer Flächen (oder überhaupt Rotationsflächen); O und E die Objektebene und die Eintrittspupille, s und x ihre Abstände von einem beliebig gewählten Anfange gemessen. Ein Meridianstrahl LM schneide die Objektebene und die Eintrittspupille

in den Abständen l und m von der optischen Achse. Der nach der Brechung ausgegangene Strahl schneide die Bildebene im Abstande l' von der Achse. Wie bekannt läßt sich l' bei genügend kleinen l und m in eine unendliche Reihe von der Form

$$l' = \sum_{i=0}^{\infty} \sum_{j=0}^{2i+1} l'_{2i+1,j}(s, x)\, l^{2i+1-j} m^j \tag{1}$$

entwickeln. Die Koeffizienten dieser Reihe, die wir weiter Koeffizienten der sphärischen Aberration nennen werden, sind rationale Funktionen der optischen Konstanten des System und der Abstände s und x. In der vorliegenden Arbeit wollen wir die Abhängigkeit dieser Koeffizienten von den Größen x und s untersuchen.

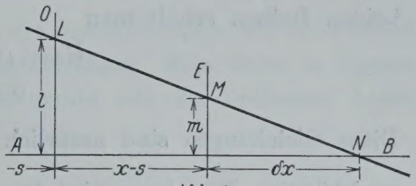


Abb. 1.

1. Die Koeffizienten der sphärischen Aberration als Funktionen von x.

Ist N der Schnittpunkt des Strahles LM mit der optischen Achse und δx der Abstand dieses Schnittpunktes von der Eintrittspupille, so kann man N als Mittelpunkt einer neuen Eintrittspupille betrachten, und dementsprechend l' durch eine unendliche Reihe von der Form

$$l' = \sum_{i=0}^{\infty} l'_{2i+1,0}(s, x + \delta x)\, l^{2i+1} \tag{2}$$

darstellen. Die Koeffizienten dieser Reihe werden aus den entsprechenden Koeffizienten der Reihe 1) erhalten, indem wir x durch $x + \delta x$ ersetzen. Aus der Abb. 1 folgt

$$\delta x = m \frac{x - s}{l - m} = \frac{m}{l} \frac{x - s}{1 - \frac{m}{l}},$$

so daß δx und folglich auch die Koeffizienten der Reihe 2) von dem Quotient $\frac{m}{l}$ abhängen. Ist $m < l$, so kann man δx und alle ganzen positiven Potenzen von δx in Reihen nach Potenzen der Größe $\frac{m}{l}$ entwickeln, nämlich:

$$\delta x^k = \left(\frac{m}{l}\right)^k (x - s)^k \sum_{n=0}^{\infty} \frac{(n + k - 1)!}{(k - 1)!\, n!} \left(\frac{m}{l}\right)^n. \tag{3}$$

Die Taylor-Entwicklung der Koeffizienten der Reihe 2) nach den Potenzen von δx lautet:

$$l'_{2i+1,0}(s, x + \delta x) = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\delta x^k}{k!} \left(\frac{\partial^k l'_{2i+1,0}}{\partial x^k}\right)_{\delta x=0}.$$

Setzt man hier anstatt δx^k seinen Ausdruck 3) ein und ordnet die Glieder nach steigenden Potenzen von $\frac{m}{l}$, so bekommt man

$$l'_{2i+1,0}(s, x + \delta x) = \sum_{j=0}^{\infty} \left(\frac{m}{l}\right)^j \sum_{k=0}^{j} \frac{(j - 1)!}{(k - 1)!\, k!\, (j - k)!} (x - s)^k \left(\frac{\partial^k l'_{2i+1,0}}{\partial x^k}\right)_{\delta x=0}$$

oder

$$l'_{2i+1,0}(s, x + \delta x) = \sum_{j=0}^{\infty} A_{2i+1,j} \left(\frac{m}{l}\right)^j, \tag{4}$$

wo $A_{2i+1,j}$ die Koeffizienten von $\left(\frac{m}{l}\right)^j$ bezeichnen. Die Einsetzung von 4) in 2) gibt

$$l' = l \sum_{j=0}^{\infty} A_{1,j} \left(\frac{m}{l}\right)^j + l^3 \sum_{j=0}^{\infty} A_{3,j} \left(\frac{m}{l}\right)^j + \cdots. \tag{5}$$

Der Ausdruck 5) ist eine Entwicklung von l' nach den Potenzen der Größen m und l und muß der Reihe 1) identisch sein. Aus der Vergleichung der Koeffizienten der beiden Reihen erhält man

$$l'_{2i+1,j} = A_{2i+1,j}, \qquad j \leqq 2i+1, \tag{6}$$

$$0 = A_{2i+1,j}, \qquad j > 2i+1. \tag{7}$$

Diese Gleichungen sind natürlich von der obenbedingten Beschränkung, daß $\frac{m}{l} < 1$, unabhängig. Man kann eine bequemere Form der Koeffizienten $A_{2i+1,j}$ erhalten, wenn man die folgenden Bezeichnungen einführt

$$T_{2i+1,0} = \frac{l'_{2i+1,0}}{(x-s)^2}, \quad T_{2i+1,1} = \frac{\partial l'_{2i+1,0}}{\partial x}, \ldots, \quad T_{2i+1,j+1} = \frac{\partial}{\partial x}(x-s)^2\, T_{2i+1,j}, \tag{8}$$

so daß

$$A_{2i+1,j} = \sum_{k=0}^{j} \frac{(j-1)!}{(k-1)!\, k!\, (j-k)!} (x-s)^k \frac{\partial^k l'}{\partial x^k} = \frac{(x-s)^{2-j}}{j!} T_{2i+1,j}, \tag{9}$$

wobei aus 7)

$$T_{2i+1,j} = 0 \qquad \text{für} \qquad j > 2i+1. \tag{10}$$

Für $i = 1$ geben die Ausdrücke 8) und 9) die bekannte Beziehung zwischen den Koeffizienten der sphärischen Aberration dritter Ordnung[1])

$$l'_{3,0} = A_{3,0}, \qquad l'_{3,1} = A_{3,1} = (x-s)\frac{\partial}{\partial x} l'_{3,0},$$

$$l'_{3,2} = \frac{1}{2}\frac{\partial}{\partial x}(x-s)^2 \frac{\partial}{\partial x} l'_{3,0}, \qquad l'_{3,3} = \frac{1}{6(x-s)}\frac{\partial}{\partial x}(x-s)^2 \frac{\partial}{\partial x}(x-s)^2 \frac{\partial}{\partial x} l'_{3,0}.$$

Es ist aus der Vergleichung der Ausdrücke 8) und 9) leicht ersichtlich, daß aus den Gleichungen

$$A_{2i+1,2i+2} = 0, \qquad i = 1, 2, \ldots \tag{11}$$

oder aus den ihnen entsprechenden

$$T_{2i+1,2i+2} = 0, \qquad i = 1, 2, \ldots \tag{12}$$

die Richtigkeit aller übrigen Gleichungen 7) und 10) folgt. Somit ist nur die Gleichung 11) bzw. 12) unabhängig.

Die Ausdrücke von $T_{2i+1,j}$ $(j \leqq 2i+1)$ werden aus 8) leicht berechnet. Setzt man diese Werte in 9) ein, so erhält man

$$l'_{2i+1,j} = A_{2i+1,j} = (-1)^j \sum_{k=0}^{2i+1-j} \frac{(-1)^{k+j}\, c_{2i+1,k+j}(s)}{k!\, j!\, (x-s)^{k+j}}, \tag{13}$$

wo $c_{2i+1,k+j}(s)$ die bei der Integration eingeführten von x unabhängigen Funktionen von s sind. So sind also die Koeffizienten der Entwicklung 1) als explizite Funktionen von x, d. h. von der Lage der Eintrittspupille, erhalten.

Für $i = 1$ hat man die bekannten Formeln

$$l'_{3,3} = \frac{1}{6}\frac{c_{3,3}(s)}{(x-s)^3},$$

---

[1]) M. v. Rohr, Die Bilderzeugung in optischen Instrumenten. S. 328.

$$l'_{3,2} = -\frac{1}{2}\frac{c_{3,3}(s)}{(x-s)^3} + \frac{1}{2}\frac{c_{3,2}(s)}{(x-s)^2},$$

$$l'_{3,1} = \frac{1}{2}\frac{c_{3,3}(s)}{(x-s)^3} - \frac{c_{3,2}(s)}{(x-s)^2} + \frac{c_{3,1}(s)}{x-s},$$

$$l'_{3,0} = -\frac{1}{6}\frac{c_{3,3}(s)}{(x-s)^3} + \frac{1}{2}\frac{c_{3,2}(s)}{(x-s)^2} - \frac{c_{3,1}(s)}{(x-s)} + c_{3,0}(s).$$

Ist die Eintrittspupille unendlich entfernt, d. h. fällt die Austrittspupille mit der zweiten Fokalebene zusammen, so ist die Entwicklung 1) unbrauchbar. Man kann in diesem Falle statt m den Tangens des Winkels w, den der Strahl mit der optischen Achse bildet, einführen. Da

$$\lim_{x\to\infty}\frac{m^j}{(x-s)^j} = (\operatorname{tg} w)^j,$$

$$\lim_{x\to\infty}(x-s)^j\, l'_{2i+1,j} = \frac{c_{2i+1,j}(s)}{j!},$$

geht die Entwicklung 1) in die folgende Reihe über:

$$l' = \sum_{i=0}^{\infty}\sum_{j=0}^{2i+1}\frac{c_{2i+1,j}(s)}{j!}\, l^{2i+1-j}(\operatorname{tg} w)^j.$$

2. Die Koeffizienten der sphärischen Aberration als Funktionen von s.

Jetzt können die Koeffizienten der Entwicklung 1) als explizite Funktionen von s, d. h. von der Lage des Objekts dargestellt werden. Es seien im folgenden x und s die Abstände der Objektebene und der Eintrittspupille von der ersten Hauptebene des optischen Systems (nicht von einem beliebig gewählten Anfangspunkte, wie in § 1). Es sei δs der Abstand von der Objektebene des Schnittpunktes des Meridianstrahles LM mit der optischen Achse. Es sei noch m' der Abstand des Schnittpunktes des gebrochenen Strahles mit der Austrittspupille von der optischen Achse. Bei genügend kleinen m und l läßt sich m' in eine Reihe von der Form

$$m' = \sum_{i=0}^{\infty}\sum_{j=0}^{2i+1} m'_{2i+1,j}\, m^{2i+1-j}\, l^j \tag{14}$$

entwickeln. Die Koeffizienten $m'_{2i+1,j}$ können mit Berücksichtigung der Ergebnisse des § 1 in der Form

$$m'_{2i+1,j} = (-1)^j \sum_{k=0}^{2i+1-j}\frac{(-1)^{k+j}\, c_{2i+1,k+j}(x)}{k!\, j!\, (s-x)^{k+j}} \tag{15}$$

geschrieben werden. Die Größen $c_{2i+1,k+j}(x)$ hängen nur von x und von den Konstanten des optischen Systems ab. Es sei $\bar{O}'$ eine zu der optischen Achse senkrechte Ebene, die die Gaußsche Abbildung des Punktes N enthält, und $\delta s'$ ihr Abstand von der Bildebene O' (Abb. 2). Der Strahl ML schneide nach dem Austritt aus dem System die Ebene $\bar{O}'$ im Abstande $\delta z'$ von der Achse. Die Größe $\delta z'$ kann durch eine Reihe

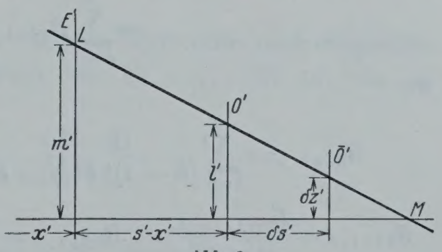


Abb. 2.

$$\delta z' = \sum_{i=1}^{\infty} l'_{2i+1,2i+1}(s+\delta s)\, m^{2i+1} \tag{16}$$

dargestellt werden. Die Koeffizienten dieser Reihe können aus den Koeffizienten $l'_{2i+1,\,2i+1}(s, x)$ erhalten werden, wenn man dort $s + \delta s$ statt s setzt. l' ist vollständig durch die Größen m' und $\delta z'$ bestimmt, nämlich (Abb. 2):

$$l' = \delta z' + (m' - \delta z')\frac{\delta s'}{s' + \delta s' - x'}.$$

Mit Hilfe der Formeln der Gaußschen Optik kann man diese Gleichung in der folgenden Form schreiben:

$$l' = \delta z' + (m' - \delta z')\frac{f + x}{f + s}\frac{l}{m}, \tag{17}$$

wo f die Brennweite des optischen Systems ist.

Wollen wir jetzt den Ausdruck 17) nach den Potenzen von m und l entwickeln. Zuerst muß man $\delta z'$ durch solch eine Reihe darstellen. Die Koeffizienten der Entwicklung 16) sind Funktionen von δs. Aus der Abb. 1 ist

$$\delta s = (s - x)\frac{l}{m}\frac{1}{1 - \dfrac{l}{m}}, \tag{18}$$

folglich sind diese Koeffizienten durch δs von dem Quotient $\frac{l}{m}$ abhängig. Es sei $l < m$, dann kann δs durch eine Reihe nach ganzen positiven Potenzen von $\frac{l}{m}$ dargestellt werden. Nachdem die Koeffizienten des Ausdrucks 16) in eine Taylorreihe nach den Potenzen von δs entwickelt werden und darin die Entwicklung von δs eingesetzt wird, erhält man nach einigen Umformungen die gesuchte Reihe für 17).

Die Rechnung gibt:

$$\delta z' = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{\delta s^k}{k!}\left(\frac{\partial^k \delta z'}{\partial s^k}\right)_{\delta s = 0} \tag{19}$$

aus 18):

$$\frac{(\delta s)^k}{k!} = \frac{(s - x)^k}{k!}\left(\frac{l}{m}\right)^k \sum_{k=0}^{\infty} \frac{n + k - 1}{(k - 1)\, n!}\left(\frac{l}{m}\right)^n, \tag{20}$$

nach Einsetzung von 19) und 20) in 16):

$$l'_{2i+1,\,2i+1}(s + \delta s, x) = \sum_{j=0}^{\infty}\left(\frac{l}{m}\right)^j \sum_{k=0}^{j} \frac{(j-1)!}{(k-1)!\,k!\,(j-k)!}(s - x)^k \left(\frac{\partial^k l'_{2i+1,\,2i+1}}{\partial s^k}\right)_{\delta s = 0}$$

$$= \sum_{j=0}^{\infty} B_{2i+1,\,j}\left(\frac{l}{m}\right)^j, \tag{21}$$

wo

$$B_{2i+1,\,j} = \sum_{k=0}^{j} \frac{(j-1)!}{(k-1)!\,k!\,(j-k)!}(s - x)^k \frac{\partial^k l'_{2i+1,\,2i+1}}{\partial s^k} = \frac{(s - x)^{2-j}}{j!} R_{2i+1,\,j},$$

$$R_{2i+1,\,0} = \frac{l'_{2i+1,\,2i+1}}{(s - x)^2}, \quad R_{2i+1,\,1} = \frac{\partial l'_{2i+1,\,2i+1}}{\partial s}, \ldots, \quad R_{2i+1,\,j+1} = \frac{\partial}{\partial s}(s - x)^2 R_{2i+1,\,j},$$

und endlich aus 17) mit Berücksichtigung von 14) und 21) erhält man die Entwicklung von l' in der Form:

$$l' = \sum_{i=0}^{\infty} B_{2i+1,0}\, m^{2i+1} + \sum_{i=0}^{\infty}\sum_{j=0}^{2i+1}\left[B_{2i+1,j+1} - \frac{f+x}{f+s} B_{2i+1,j} + \frac{f+x}{f+s} m'_{2i+1,j}\right] m^{2i-j}\, l^{j+1}$$

$$+ \sum_{i=0}^{\infty}\sum_{j=2i+2}^{\infty}\left[B_{2i+1,j+1} - \frac{f+x}{f+s} B_{2i+1,j}\right] m^{2i-j}\, l^{j+1}. \qquad 22)$$

Der Ausdruck 22) muß mit dem Ausdrucke 1) identisch sein. Die Vergleichung der Koeffizienten gibt:

$$B_{2i+1,2i+2} - \frac{f+x}{f+s} B_{2i+1,2i+1} + \frac{f+x}{f+s} m'_{2i+1,2i+1} = 0, \qquad 23)$$

$$B_{2i+1,j+1} - \frac{f+x}{f+s} B_{2i+1,j} = 0, \quad (j \geqq 2i+2) \qquad 24)$$

$$B_{2i+1,j+1} - \frac{f+x}{f+s} B_{2i+1,j} + \frac{f+x}{f+s} m'_{2i+1,j} = l'_{2i+1,2i-j}. \quad (j = 0, 1, \ldots, 2i) \qquad 25)$$

Aus 24) mit Berücksichtigung von 23) und 15) erhält man

$$B_{2i+1,0} = l'_{2i+1,2i+1} = \frac{1}{(2i+2)!}\frac{\gamma_{2i+1}(x)}{(f+x)^{2i+2}} \cdot \frac{s-x}{f+s} + \sum_{k=0}^{2i+1} \frac{(-1)^k \gamma_{2i+1,k}(x)}{k!\,(s-x)^k}, \qquad 26)$$

wo

$$\gamma_{2i+1,2i+1}(x) \equiv c_{2i+1,2i+1}(x),$$

und schließlich aus 25) und 15):

$$l'_{2i+1,2i-j} = (-1)^{j+1}\sum_{k=0}^{2i-j} \frac{(-1)^{k+j+1}\gamma_{2i+1,j+1+k}(x)}{k!\,(j+1)!\,(s-x)^{j+1+k}}$$

$$+ (-1)^j \frac{f+x}{f+s}\sum_{k=0}^{2i+1-j} \frac{(-1)^{k+j}\left[c_{2i+1,k+j}(x) - \gamma_{2i+1,j+k}(x)\right]}{k!\,j!\,(s-x)^{k+j}}. \qquad 27)$$

Die bei der Integration eingeführten Größen $\gamma_{2i+1,j}(x)$ hängen nur von x und von den optischen Konstanten ab, folglich geben 26) und 27) die gesuchten Ausdrücke für die Koeffizienten der sphärischen Aberration als explizite Funktionen von s.

3. Die Beziehungen zwischen den Koeffizienten $\gamma_{2i+1,j}$ und $c_{2i+1,j}$.

Es wird unten gezeigt, daß die Koeffizienten γ_{2i+1} und $\gamma_{2i+1,j}$ $(j = 0, \ldots, 2i+1)$, die in dem vorigen Absatz eingeführt waren, und die Koeffizienten $c_{2i+1,j}$ $(j = 0, 1, \ldots, 2i-1)$ des ersten Absatzes, aus $c_{2i+1,2i+1}$ und $c_{2i+1,2i}$ erhalten werden können, wenn diese letzte bekannte Funktionen von s sind.

Entwickelt man die Größe $(f+s)\,c_{2i+1,2i+1}(s)$ in eine Taylorreihe nach steigenden Potenzen von $(s-x)$ und führt sie in den Ausdruck von $l'_{2i+1,2i+1}$ (Gl. 13) ein, so erhält man:

$$l'_{2i+1,2i+1} = \frac{(x-s)^{-(2i+1)}}{(2i+1)!}\left\{(f+x)\,c_{2i+1,2i+1}(x)\right.$$

$$\left. + \sum_{j=1}^{\infty} \frac{(s-x)^j}{(j-1)!}\left[\frac{f+x}{j}\frac{d^j c_{2i+1,2i+1}}{dx^j} + \frac{d^{j-1} c_{2i+1,2i+1}}{dx^{j-1}}\right]\right\}.$$

Aus 26) aber hat man

$$(f+s)\, l'_{2i+1,\,2i+1} = -\frac{(s-x)^{-(2i+1)}}{(2i+1)!}\Bigg\{(f+x)\,\gamma_{2i+1} + \sum_{k=1}^{2i+1}(-1)^{k+1}(s-x)^{2i+2-k}\left[\frac{\gamma_{2i+1,\,k}}{k!} - \frac{\gamma_{2i+1,\,k-1}}{(k-1)!}(f+x)\right] - (s-x)^{2i+2}\left[\gamma_{2i+1,\,0} + \frac{\gamma_{2i+1}}{(2i+2)!\,(f+x)^{2i+2}}\right]\Bigg\}.$$

Die Vergleichung der rechten Seiten beider Ausdrücke gibt

$$\gamma_{2i+1,\,2i+1}(x) = c_{2i+1,\,2i+1}(x),$$

$$\frac{f+x}{k}\frac{d^k c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^k} + \frac{d^{k-1} c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^{k-1}} = 0, \qquad (k \geqq 2i+3) \qquad 28)$$

$$\frac{f+x}{k}\frac{d^k c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^k} + \frac{d^{k-1} c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^{k-1}}$$
$$= (2i+1)!\,(-1)^{k+1}\left[\frac{\gamma_{2i+1,\,k}(x)}{k} - (f+x)\cdot\gamma_{2i+1,\,k-1}(x)\right], \qquad (k = 1, \ldots, 2i+1) \qquad 29)$$

$$\frac{1}{(2i+1)!}\left[\frac{d^{2i+1} c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^{2i+1}}\frac{1}{(2i+1)!} + \frac{(f+x)}{(2i+2)!}\frac{d^{2i+2} c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^{2i+2}}\right] = \frac{1}{(2i+2)!}\frac{\gamma_{2i+1}(x)}{(f+x)^{2i+2}}. \qquad 30)$$

Aus 28) folgt

$$\frac{d^{2i+2} c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^{2i+2}} = \frac{\beta_{2i+1}}{(f+x)^{2i+3}}$$

und weiter

$$c_{2i+1,\,2i+1}(x) = \frac{1}{(2i+2)!}\frac{\beta_{2i+1}}{(f+x)} + \sum_{k=0}^{2i+1}\frac{\beta_{2i+1,\,k}}{k!}x^k, \qquad 31)$$

wo β_{2i+1}, $\beta_{2i+1,\,j}$ $(j = 0, 1, \ldots, 2i+1)$ weder von x noch von s abhängig sind. Dann lassen sich aus 29) und 30) die gesuchten Ausdrücke für $\gamma_{2i+1,\,j}$ und γ_{2i+1} ergeben:

$$\gamma_{2i+1,\,2i+1-k} = (-1)^k\frac{(2i+1-k)!}{k!\,(2i+1)!}\frac{d^k c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^k}, \qquad 32)$$

$$\gamma_{2i+1} = -\frac{(f+x)^{2i+3}}{(2i+1)!}\frac{d^{2i+2} c_{2i+1,\,2i+1}(x)}{dx^{2i+2}} = -\frac{\beta_{2i+1}}{(2i+1)!} = \text{Const.} \qquad 33)$$

Vergleicht man jetzt, zur Berechnung der Koeffizienten $c_{2i+1,\,j}$ $(j = 0, \ldots, 2i-1)$ die in dem ersten und zweiten Absatz erhaltenen Ausdrücke von $l'_{2i+1,\,0}$, so findet man

$$\frac{\gamma_{2i+1,\,2i+1}(x)}{(2i+1)!\,(s-x)^{2i+1}} + \frac{f+x}{f+s}\left\{\frac{c_{2i+1,\,2i}(x) - \gamma_{2i+1,\,2i}(x)}{(2i)!\,(s-x)^{2i}}\right\} = (-1)^j\sum_{j=0}^{2i+1}\frac{c_{2i+1,\,j}}{j!\,(x-s)^j}.$$

Multipliziert man die beiden Seiten dieser Gleichung mit $(x-s)^{2i+1}$, ersetzt $\gamma_{2i+1,\,2i+1}(x)$ und $\gamma_{2i+1,\,2i}(x)$ durch ihre Ausdrücke 32) und entwickelt die linke Seite in eine Reihe nach den Potenzen von $(x-s)$, so erhält man:

$$\sum_{k=0}^{\infty}(x-s)^k\Bigg\{\frac{k-1}{(2i+1)!}\left[\frac{1}{k!}\frac{d^k c_{2i+1,\,2i+1}(s)}{ds^k} + \frac{1}{f+s}\frac{1}{(k-1)!}\frac{d^{k-1} c_{2i+1,\,2i+1}(s)}{ds^{k-1}}\right] + \frac{1}{(2i)!\,(k-1)!}\left[\frac{d^{k-1} c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{k-1}} + \frac{k-1}{f+s}\frac{d^{k-2} c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{k-2}}\right]\Bigg\}$$
$$= \sum_{j=0}^{2i+1}(-1)^j\frac{c_{2i+1,\,j}(s)}{j!}(x-s)^{2i+1-j}.$$

Die Vergleichung der Koeffizienten der gleichen Potenzen von $(x-s)$ ergibt:

$$\frac{(k-1)}{k!\,(2i+1)!}\left[\frac{d^k c_{2i+1,\,2i+1}(s)}{ds^k}+\frac{k}{f+s}\frac{d^{k-1}c_{2i+1,\,2i+1}(s)}{ds^{k-1}}\right]$$
$$+\frac{1}{(2i)!\,(k-1)!}\left[\frac{d^{k-1}c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{k-1}}+\frac{k-1}{f+s}\frac{d^{k-2}c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{k-2}}\right]$$
$$=(-1)^{k-1}\frac{c_{2i+1,\,2i+1-k}(s)}{(2i+1-k)!},\qquad (1<k\leqq 2i+1) \qquad 34)$$

$$\frac{1}{(2i+2)!\,(2i)!}\left[\frac{d^{2i+2}c_{2i+1,\,2i+1}(s)}{ds^{2i+2}}+\frac{2i+2}{f+s}\frac{d^{2i+1}c_{2i+1,\,2i+1}(s)}{ds^{2i+1}}\right]$$
$$+\frac{1}{(2i)!\,(2i+1)!}\left[\frac{d^{2i+1}c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{2i+1}}+\frac{2i+1}{f+s}\frac{d^{2i}c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{2i}}\right]=0, \qquad 35)$$

$$\frac{1}{(2i+3)!}\frac{2i+2}{(2i+1)!}\left[\frac{d^{2i+3}c_{2i+1,\,2i+1}(s)}{ds^{2i+3}}+\frac{2i+3}{f+s}\frac{d^{2i+2}c_{2i+1,\,2i+1}(s)}{ds^{2i+2}}\right]$$
$$+\frac{1}{(2i)!\,(2i+2)!}\left[\frac{d^{2i+2}c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{2i+2}}+\frac{2i+2}{f+s}\frac{d^{2i+1}c_{2i+1,\,2i}}{ds^{2i+1}}\right]=0 \qquad (k\geqq 2i+3)$$

oder zufolge der Formel 28)

$$\frac{d^{2i+2}c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{2i+2}}+\frac{2i+2}{f+s}\frac{d^{2i+1}c_{2i+1,\,2i}}{ds^{2i+1}}=0. \qquad 36)$$

Aus 36) folgt:

$$\frac{d^{2i+1}c_{2i+1,\,2i}(s)}{ds^{2i+1}}=\frac{\delta_{2i+1}}{(f+s)^{2i+2}}$$

und

$$c_{2i+1,\,2i}(s)=-\frac{\delta_{2i+1}}{(2i+1)!\,(f+s)}+\sum_{j=0}^{2i}\frac{\delta_{2i+1,\,j}}{j!}s^j, \qquad 37)$$

wo alle δ von x und s unabhängig sind. Hiernach erhält man aus 35):

$$\delta_{2i+1,\,2i}=\frac{\beta_{2i+1,\,2i+1}}{2i+1} \qquad 38)$$

und endlich aus 34) die gesuchten Ausdrücke für $c_{2i+1,\,j}$:

$$c_{2i+1,\,j}(s)=(-1)^j\frac{j!}{(2i)!\,(2i-j)!}$$
$$\left\{\frac{2i-j}{2i+1-j}\left[\frac{d^{2i+1-j}}{ds^{2i+1-j}}c_{2i+1,\,2i+1}(s)+\frac{2i+1-j}{f+s}\frac{d^{2i-j}}{ds^{2i-j}}c_{2i+1,\,2i+1}(s)\right]\right.$$
$$\left.+\left[\frac{d^{2i-j}}{ds^{2i-j}}c_{2i+1,\,2i}(s)+\frac{2i-j}{f+s}\frac{d^{2i-1-j}}{ds^{2i-j-1}}c_{2i+1,\,2i}(s)\right]\right\}. \qquad 39)$$

Die Formeln 32), 33) und 39) zeigen, daß alle Koeffizienten der sphärischen Aberration der Meridianstrahlen von der Ordnung $2i+1$ erhalten werden können, wenn zwei Funktionen $c_{2i+1,\,2i+1}$ und $c_{2i+1,\,2i}$ von der Form 31) und 37) bekannt sind. Diese zwei Funktionen sind auch nicht vollständig unabhängig, aber zur Untersuchung dieses Zusammenhanges müßte man den Satz von Malus anwenden, was außer dem Plane dieser Arbeit liegt.

P. L. Guinands Anweisung zum Glasschmelzen.

Übersetzt und herausgegeben

von

Moritz von Rohr in Jena.

(Fortsetzung von S. 514.)

[Das Verfahren, das Glas zu kühlen.]

Hat man auf die eine oder die andere Weise das Glas ausfließen lassen, so muß man die Scheibe und ihre Form rasch herausnehmen und im Kühlofen langsam erkalten lassen. Zeichnung 8 [xiii]. Denn wenn das Glas lange im Gieß- oder Senkofen bleibt, so wird es leicht blasig, weil sich die Form bald von dem Glase anfressen läßt, wenn [97] es etwas länger starker Hitze ausgesetzt bleibt. Je nach dem Maße, wie das Glas seine Form anfrißt, entwickelt sich aus ihr Gas, das steigt seiner Leichtigkeit halber im Glase auf, und das sind die Bläschen.

Die Öfen zu langsamer Kühlung[1]) Zeichnung 8 [xiii] sollen bis zu guter Rotglut befeuert werden, doch läßt man sie bis zu einer nur braunroten Glut verkühlen, ehe man das gegossene Glas hineinschiebt. Man muß den Ofen zunächst überheizen, weil zunächst die Mitte der Feuerstelle und der Wölbung den höchsten Hitzgrad annehmen, während die Wände des Ofens /: nur :/ viel kühler sind. Wenn man daher den Ofen verkühlen läßt, so nimmt zunächst die Hitze in der Mitte der Feuerstelle und des Gewölbes ab, und man kann auf die angegebene Weise einen recht gleichmäßig heißen Ofen erhalten. Es müssen sogar die Ofenwandungen viel heißer sein als die Mitte, weil die Mitte immer zuletzt kalt wird, wenn [98] der Ofen völlig geschlossen wird, wie es geschehen muß, wenn man das Glas in den Ofen geschoben hat[2]).

Die Scheiben dürfen sich in ihrer Mitte nicht stärker abkühlen als an ihren Rändern; wenn es gut werden soll, so muß es durchweg gleichmäßig vor sich gehen. Aber immer kühlt sich die Mitte der Scheibe zuletzt ab, doch kann man diese Mitte ebenso rasch kalt werden lassen wie den Rand, wenn man in der Mitte des Ofengewölbes ein kleines Loch anbringt. Die Kälte dringt dadurch ein und kühlt die Mitte der Scheibe ab Dem Schmelzer kommt es immer zu, dieses nicht zu große Loch in dem Gewölbe anzubringen. Denn wenn man es zu groß macht, so kühlt es die Mitte der Scheibe zu stark ab. Und das kann sie am Rande springen lassen; denn dieser dehnt sich noch aus, während die Mitte das nicht [99] mehr tut, da sie ja abgekühlt wird. Übrigens ist es zweckmäßiger, daß die Mitte der Scheibe stets etwas heißer sei als der Rand. Denn Zusammenziehung und Ausdehnung sind immer um so merkbarer, je weiter von der Mitte sie stattfinden. Außerdem geht die Zusammenziehung gegen die Mitte hin; wenn die Mitte nicht weicht, so muß der Rand springen. Diese Sprünge gehen vom Rande gegen die Mitte hin. Wenn aber der Rand platzt, so läßt er häufig die Scheibe in mehrere Stücke springen. Das geschieht, wenn die Spannung im Rande groß ist, dann ergibt sie einen starken Zug in der ganzen Scheibe, und man sieht sogar die Stücke sehr weit wegspringen, was für die starke Spannung in der Scheibe spricht.

[Die Art, die Formen in den Schmelzofen zu schieben.]

Hier folge die Beschreibung der Art, wie man die Formen in den Schmelzofen schieben soll. Man muß [100] auf der Heizfläche eine feine Schicht weißen Sandes ausbreiten, worauf man die Formen niedersetzt, und darauf kann man die Form leicht über die Heizfläche hinschieben. Steht die Form an ihrem Platz, so muß man den ganzen Zwischenraum zwischen den Wänden des Ofens und der Form mit Sand ausfüllen. Das preßt die Form nach ihrer eigenen Mitte, so daß es auch dienlich ist, selbst wenn ein gewisser Sprung vorhanden wäre. Die Seite der Form nach der Rinne, die das Glas vom Hafen nach der Form führt, darf sie nur mit dem obersten Rande berühren, und zwar auch nur den äußersten Teil der Rinne. Das ist notwendig, um die Form leicht von der Rinne trennen zu können, denn das Glas bindet sie leicht aneinander, indem es über die Verbin-

---

[1]) /: Die Seitenwände und die Wölbung des Ofens sollten mindestens 18 Zoll [$= {}^1/_2$ m] dick /: sein, um die Hitze ziemlich lange zu halten. :/

[2]) Siehe die vorhergehende Fußnote.

dungsstelle fließt[1]). Will man die Form herausnehmen, so muß man sie mit 2 Eisenhaken greifen, je einem rechts und links von der Rinne. Man zieht sie so um 2 oder 3 Zoll [= $5^1/_2$ bis 8 cm] von [101] der Rinne weg. Sodann greift man die Form mit einem Eisenreifen, der vorher so gerichtet ist, daß er sie völlig umfaßt. Dann zieht man sie aus dem Ofen und auf eine dafür bereitgehaltene Tonplatte. Diese Platte liegt auf einer Trage, um sie beliebig fortschaffen zu können. Das Ganze trägt man alsdann vor den Kühlofen Zeichnung 8 [xiii] und schiebt, dort angekommen, die Form mit ihrer Scheibe in den Ofen, wobei man sich stets des Eisenreifens bedient[2]). Alsdann sollte man den Ofen vorrichten, um eine weitere Form, die man herausbringt, aus dem Vorwärme ofen der Formen Zeichnung 9 [xii] aufzunehmen. Man zieht sie immer mit dem Eisenreifen heraus und bringt sie in derselben Weise in den Schmelzofen und geht mit ihr um, wie oben beschrieben. Wenn der Vorwärmeofen für die Formen Zeichnung 9 [xii] nicht mehr heiß ist, so daß man ihn anfassen kann, ohne sich die Hand stark zu verbrennen, so schiebt man eine Form hinein und feuert in langsamem Anstiege bis zur höchsten Hitze, die der Ofen geben kann, wie das /: auf S. 83 unten :/ S. 73 beschrieben ist. Wenn man [102] die Form aus dem Vorwärmeofen herauszieht, so läßt man ihn völlig offen, damit er sich rasch abkühlt, und man ihn mit einer neuen Form beschicken kann, aber die Feuerung *a* auf Zeichnung 9 [xii] sollte geschlossen bleiben.

[Das Rühren des Glases von niedriger Brechung.]

Wünscht man Glas von niedriger Brechung zu machen[3]), so muß man die Schmelze besorgen wie auf S. 78 beschrieben. Sobald das Glas völlig geschmolzen ist, so muß man es in der gleichen Weise rühren wie stark brechendes, aber bei dem schärfsten Feuer, das man dem Ofen geben kann, ohne daß er raucht. Man rührt dann nicht länger als 2 bis 3 Stunden und hält den Ofen auf derselben Hitze, bis das Glas blasenfrei ist. Dann geht man mit der Befeuerung ein wenig herunter und läßt es zwei Stunden lang dabei, damit alle Blasen völlig aus dem Glase herauskommen, und läßt es dann in eine Form fließen, /: in jeder Hinsicht nach derselben Weise, wie bei dem hoch- /: brechenden Glas :/ wie auf S. 74 beschrieben. Ist das Rühren abgeschlossen, so muß man den Rührer aus dem Hafen ziehen [103] und sich dabei vorsehen, daß von ihm nichts in den Glashafen hinabtropft[4]). /: Den Rührer muß man neben dem Hafen auf eine Tonplatte niederlassen, die man /: vorher dafür gerichtet hat. :/ Man kann auch einen Deckel auf den Boden der Plattenform legen und einen auf dem Glaslauf vom Hafen in die Form und legt sie auf dieselbe Weise an, wie das bei den Senkformen für die Glasbrocken gilt, die auf S. 85 beschrieben worden sind. Mithin sollte der Deckel auf dem Boden der Form *aa* auf Tafel 5 [v] einen Gegenhalt wie auf der ersten Zeichnung der Tafel 4 [vi] bei *gg* haben. Und das Ende des Deckels auf dem Glaslauf vom Hafen in

---

[1]) Man muß den Boden der Form ganz mit weißem Sande bedecken, und zwar mindestens in der Dicke von einem Viertelzoll [= $^2/_3$ cm] in der ganzen Ausdehnung. Und wenn man das Glas auslaufen lassen will, so hole man den Sand mit einer Eisenkratze heraus. Doch muß auf dem Boden der Form eine Schicht von mindestens 2 Linien [= $4^1/_2$ mm] Dicke in der ganzen Ausdehnung bleiben, damit das Glas, wenn es wieder flüssig darüberläuft, nicht blasig wird.

[2]) Man setzt dem Kühlofen seinen Deckel auf und verschmiert ihn überall.

[3]) /: Um eine solche Schmelze in der zu beschreibenden Art zu machen, muß man einen /: kleinen Hafen versuchen für dieses Glas, indem man darin eine Schmelze von hoher Brechung /: macht. Man formt einen Hafen so groß als möglich, nur daß er durch die Öffnung des Ofens /: gebracht werden kann, das ist das einzige, was berücksichtigt werden muß. Sobald der Ofen /: seine volle Glut hat, so füllt man den kleinen Hafen mit Glassatz. Ist er voll, so setzt man /: einen Deckel auf seinen Rand, damit nichts von anderem Glase durch die bei schmelzendem /: Glase stets auftretende Sublimation in ihn hinein komme. :/

[4]) Man sollte den Rührer gerade über dem Hafen halten und ihn dann seitlich auf die Tonplatten stützen, die sich auf der einen Seite an die Wandung des Hafens und auf der andern an den oberen Teil des Ofens stemmen; man sollte unmittelbar, nachdem man den Rührer herausgezogen hätte, den Ofen um seine Achse drehen, bis das Glas im Hafen zum Auslaufen bereit wäre. Dann wäre die Platte des Rührers in geneigter Lage, während das Glas auf der Seite des Hafens ausliefe.

die Form *aa* sollte sich dazu ebenso verhalten wie *ff* auf der gleichen Zeichnung. Aber das andere Ende desselben Deckels sollte so angehoben werden, daß das Glas, wenn man es laufen läßt, unter den Deckel gelangen kann. Dieser Deckel wird den auf dem Boden der Gießform ruhenden anheben, wenn das Glas sich unter ihn schiebt, [104] der ja den Glaslauf überdeckt. Man bedarf zweier Knöpfe[1]), /: mitten auf dem Deckel des Bodens der Form und auch zweier Streben; diese /: sollen so gerichtet sein wie bei der Form zum Senken nach S. 86 und aus demselben Grunde :/ damit sich der Deckel bewegen kann, ohne an die Seiten der Form zu stoßen, wenn das Glas fließt.

[Die Herstellung der Deckel.]

Es ist recht schwierig, Deckel von großem Durchmesser zu haben, die nicht während der Schmelzung springen. Man muß sie in der Mitte dünn machen von 2 Linien [$4^1/_2$ mm] Dicke und um 2 Dritteile stärker am Rande. Das geschieht aus zwei Gründen: einmal werden sie leichter, und es ist weniger mühsam, sie an einer Seite anzuheben; zum andern stört eine solche Mitte weniger die Ausdehnung und Zusammenziehung, während sie gebrannt werden. Denn solange der Ton seinen rohen Zustand noch nicht verlassen hat, zieht er sich stets zusammen; ist er aber völlig geschmolzen, so dehnt er sich aus[2]), und um so mehr, je höher die so gewonnene [105] Hitze ist. Alle Stoffe, welcher Art auch immer, dehnen sich um so stärker aus, je höher erhitzt sie werden, und zwar bis sie schließlich in den Schmelzzustand übergehen, wenn sie, wie die Metalle, zu einem solchen Zustande fähig sind. Haben sie ihn erreicht, so verdampfen sie vollständig, wenn man sie genügend lange flüssig erhält. Der Lehm für die Deckel, besser gesagt die Tonerde, würde sich ebenso verhalten, wenn man sie so stark erhitzen könnte, daß sie schmölze. Man kann sie wohl flüssig machen, aber nur mit dem Zusatz von Metallkalk oder fixem Alkali. Sie wird dann flüssig wie ein Glas in der Schmelzung, bleibt aber undurchsichtig und sieht wie Porzellan aus [?]. Aus ihr macht man auch das Porzellan.

/: Man muß aber auf die Deckel zurückkommen. Wenn man sieht, daß man mehr erreicht, /: wenn man die Deckel aufsetzt, als ohne das, sobald man Glas von schwacher Brechung auslaufen /: läßt, so muß man sie auch verwenden, wenn man eine Schmelze von Glas hoher Brechung aus- /: gießen will. Man wird dann sehen, ob sich auch für diese Art Glas [106] das Setzen der Deckel /: lohnt oder nicht. :/

[Die Anfertigung der Formen aller Art und ihrer Deckel.]

Um Gieß- und Senkformen sowie Deckel zu machen, muß man hölzerne Hohlformen von geeigneter Gestalt haben, um dahinein die Lehmformen nach seinem Belieben hineinzudrücken. Zwischen die Holzformen und den eingepreßten Lehm muß man Leinwand bringen, damit der Lehm nicht an der Holzform festklebt. Man muß eine Lehmgabe streng gegen die andere drücken, wenn man sie zu der Form verwendet. Ist die [Holz-] Form gut ausgefüllt, so daß der Lehm sogar einen halben Zoll [$= 1^1/_3$ cm] höher steht, als die Seitenwände der Form, so muß man Leinwand auf die Lehmform breiten und einen Deckel darauf setzen. Alsdann bringt man alles unter einen starken Druck, drückt den Lehm stark in seine [Holz-] Form und läßt ihn 5 bis 6 Stunden unter Druck, ehe man die [Lehm-] Form aus ihrer [Holz-] Form herausnimmt. Dies Verfahren läßt den Lehm der Form dichter, gedrängter und folglich weniger [107] geeignet werden, während des Brennens zu springen.

Zur Herstellung der Formen und ihrer Deckel muß man sich des Tones von Lengnau be-

---

[1]) auf dem Deckel, die 4 oder 5 Zoll [$= 11$ oder $13^1/_2$ cm] von seinem Rande entfernt sein sollen. Man muß auch zwei Streben anbringen, die sich mit einem ihrer Enden gegen die Knöpfe, mit dem andern gegen den Rand der Form stemmen. Man sehe die Knöpfe und die Streben bei *aa* auf der Tafel 6 [viii]. Bei *zz* auf der Tafel 5 [v] den Deckel auf der Form und bei *nn* auf dem Glaslauf. Sie müssen so beschaffen sein.

[2]) [105] Zum mindesten wenn der Lehm tonreich ist, schrumpft er bei der Hitze ein. Denn wenn der Lehm schmelzbare Stoffe enthält, so zieht sich das Stück beim Brennen zusammen, bis sich sein ganzer Rohstoff in engster Berührung befindet, wenn aber der Lehm weder wenig noch viel schmelzbare Bestandteile enthält, dann

dienen[1]) [2]) /: es ist der beste :/. Wenn nun die Formen und Deckel halb trocken sind, so muß man sie mit einer Lage auskleiden, wofür weißer Sand mit dem zehnten Teil des Tones von /: Plentsch :/ Lengnau verrührt wird. /: Dieser Ton von Plentsch ist sehr weiß, aber stark mit ziemlich weißem /: Sande vermischt. Man muß ihm durch Schlemmen die gröbsten Sandkörner entziehen. :/ Man nimmt also zehn Maße von weißem Sande und ein Maß von dem Ton von Lengnau, mischt sie mit Wasser gut zusammen und gießt so viel Wasser hinzu, bis diese Mischung die Klarheit von dicklichem Brei hat. Alsdann füllt man die Formen damit fest an und läßt es sich absetzen. Ist das geschehen, so bringt man die Form in wagerechte Lage, damit sich alles, was noch von dieser Mischung vorhanden sei, auf dem Boden der Form höchst gleichmäßig ausbreite. In gleicher Weise muß man den gleichen Belag sich auf der Seite des Deckels [108] absetzen lassen, die mit dem Glase in Berührung kommt. Man muß ihn auch auf die Seitenwände der Formen aufbringen und mit einem Pinsel die Masse auftragen, wo sie nicht hingelangt ist, als man sie in der soeben beschriebenen Weise auf ihren Boden gegossen hat[3]). Die Seitenwände der Formen müssen nach außen geneigt sein, mindestens um einen halben Zoll [$1^1/_3$ cm] auf jeden Zoll ihrer Höhe, damit die Glasscheiben aus der Form herauskommen, ohne diese zu verletzen, und man sich der Formen mehr als einmal bedienen kann. Der so gemischte, in die Formen und auf die Deckel verteilte Sand nützt in zwei wichtigen Hinsichten. Einmal verursacht er nicht so leicht Bläschen, wie es die Tonerde tun würde, sodann löst sich das Glas leicht beim Zusammenziehen von den Formen und Deckeln, so daß man sich der Formen mehrere Male bedienen kann. Man muß aber den [109] an der Form so haftenden weißen Sand gut ausputzen und die Füllung dann von neuem vornehmen, wie für das erste Mal beschrieben. Selten trifft es sich, daß man einen Deckel zweimal benutzen kann, und wenn das wirklich geschieht, so muß man ihm ebenfalls seine Schicht weißen Sandes geben[4]).

Werden die Formen und ihre Deckel nicht bei schärfstem Feuer gebrannt[5]), so machen sie das Glas blasig.

[Die Gestaltung aller Formen.]

Alle Senkformen, in denen das Glas nach dem Senken bleibt, müssen rund sein, damit man runde Glasscheiben erhält. Alle Formen, die nur dazu dienen, daß sich das Glas in Scheiben ausdehne, müssen gemacht werden, wie auf Taf. 6 [viii] dargestellt, mit abgerundeten Ecken. Dies aus zwei Gründen. Einmal will man immer runde Scheiben haben, und scharfe Ecken gingen immer verloren, und ferner werden die Formen in dieser Gestalt weniger leiden, und man umfaßt sie leichter mit den Eisenreifen, wenn man sie aus dem einen Ofen zieht und in einen andern einschiebt. Wegen der Deckel der Form sehe man S. 104 und 106 ein.

Abb. viii. Plattenform mit abgerundeten Ecken zum Senken. *aa* Widerlager oder Streben. S. S. (104, 109).

[Wie man mit guten Stücken in den gegossenen Scheiben verfährt.]

[110] Wenn man hochbrechendes Glas in Scheiben gießt, so muß man diese polieren, um zu erkennen, wo man ein gutes Stück herausschneiden kann. Man schneidet sie mittels Sand und einer eisernen Kreisscheibe. Hat man diese guten Stücke, so kann man sie, die man für brauchbar hält, senken, wie auf S. 87 beschrieben; um sie völlig rein zu erhalten, sehe man S. 91.

---

[1]) Und des von /: Plentsch :/ Morteau. Man muß /: die Hälfte von jedem :/ ein Dritteil von Morteau und zwei Dritteile von Lengnau zusammenbringen in puderartigen Zustand /: oder so mit /: Wasser vermischt, daß sie wie dicklicher Brei sind :/.

[2]) Man muß den puderartigen Rohstoff gut mischen und später gut kneten, so daß er gut zusammenhält. Dann muß man die Form aus ihm aufbauen, sie danach einer starken Pressung aussetzen und 3 bis 4 Stunden darunter lassen. Alsdann kann man sie aus der [Holz-] Form nehmen.

[3]) Formen und Deckel aus Ton muß man immer auf gut ebene Bretter stellen, damit sie eben und flach bleiben.

[4]) Man muß Formen und Deckel nach ihrer Neubelegung ein zweites Mal brennen.

[5]) ehe man das Glas in sie hineinlaufen läßt,

[Wie man die im Schmelzofen abgekühlte Glasmasse behandeln muß, um große Stücke zu senken.]

Will man aber dicke Scheiben haben, so muß man das Glas in Formen auslaufen lassen, die nur 12 bis 14 Zoll [$= 32^1/_2$ bis 38 cm] Durchmesser haben, eben damit die Scheibe eine gehörige Dicke erhalte. Läßt man das Glas in seinem Hafen erkalten, so muß man gleich nach dem Abschluß des Rührvorganges den Rührer herausnehmen /: und sofort Sand auf die ganze Oberfläche /: des Glases streuen, so daß er überall mindestens $^1/_2$ Zoll [$= 1^1/_3$ cm] dick liegt. Man muß auch /: noch einen schwachen Grad von Hitze eine Stunde erhalten oder :/ und dann den Ofen verschließen, wie auf S. 136 und 132 beschrieben ist, damit man die Schmelze vollende, indem man sie sich in ihrem Hafen abkühlen läßt. [111] Sobald der Ofen kühl ist, zieht man den Hafen heraus und schlägt ihn ab, ohne das Glas zu verletzen. Dann setzt man die Schneide eines guten Steinmeißels gegen die Seite des Glasblocks senkrecht auf die Mitte und in der Richtung auf die Mitte, gibt einen starken Hammerschlag auf die Schlagfläche des Meißels, so daß der Glasblock mitten auseinander springt und sieht dann zu, wo man gute Stücken Glases findet. Man sprengt alle Glasstücke mit Hammerschlägen, indem man immer die Schneide zwischen die guten und die schlechten Stellen setzt. Recht zweckmäßig wäre es, mit der Sandscheibe die beiden Endflächen des Glasblocks abzusägen /: nämlich den oberen Teil des Glases :/. Den Glasboden muß man einen Zoll [$= 2^3/_4$ cm] über dem Tonansatz am Grunde und das obere Ende 9 Linien [= 2 cm] unter der Oberfläche des Glases absägen. Ferner sollte man den Glasblock aus dem Hafen mit der Eisenscheibe und Sand so absägen, daß man mindestens 3 Linien [= 7 mm] Glas von der Seitenwandung des Glasblocks wegnimmt. Es ist auch empfehlenswert [112], die beiden Enden des Glasblocks anzupolieren, man sieht dann die Beschaffenheit des Glases und kann, statt es mit Meißelschlägen zu sprengen, an den zweckmäßig erscheinenden Stellen den Glasblock zersägen. Alles dies kann man mit einem durch Wasserkraft betriebenen Räderwerk machen, wie ich ein solches am Falle des Doubs errichtet habe, das tatsächlich nach dem Mühlteich zu les Brenets überführt worden ist. Ich habe eine Glassäge, die 8 bis 10 Schnitte durch einen Glasblock macht; 30 bis 40 Stunden sind nötig, um einen Glasblock von 12 Zoll [$= 32^1/_2$ cm] Durchmesser durchzusägen. Die beste Art, Glas zu schneiden, bringt den Glasblock, die Säge, den Sand und das Wasser in eine Bütte von hinreichender Größe und läßt die Säge allein umlaufen.

[Die Scheibengrößen beim Gießen aus dem Hafen.]

Die Blöcke durchgerührten Glases mögen 12 Zoll [$= 32^1/_2$ cm] Durchmesser und 4 Zoll [= 11 cm] Höhe haben. Gießt man das in eine Scheibe aus, so erhält man eine von 13 bis 14 Zoll [= 35 bis 38 cm] im Quadrat und 2 Zoll [$= 5^1/_2$ cm] Dicke. Will man eine Scheibe von einem Zoll [$= 2^3/_4$ cm] Dicke haben, so erhielte man 18 Zoll [= 50 cm] Durchmesser im Quadrat, wenn man das Glas aus dem Hafen bis zum letzten Tropfen in die Form gösse. [113] Die Scheibe würde einen größeren Durchmesser erhalten können, doch darf man den Bodensatz im Hafen nicht ausgießen, denn er ist besonders fadenreich. Es muß immer etwa 1 Zoll [$= 2^3/_4$ cm] hoch im Hafen zurückbleiben, wenn man annimmt, daß der Hafen ganz senkrechte [Wände] habe.

Wenn man schwach brechendes Glas macht /: und es nicht durchrührt, so kann man den /: Hafen ganz anfüllen, was eine Scheibe von 18 Zoll [= 50 cm] im Durchmesser quadratisch und /: 2 Zoll [$= 5^1/_2$ cm] Dicke ergibt. Und wenn die Scheibe einen Zoll stark ist, so hat sie 25 Zoll /: [= 68 cm] im Durchmesser quadratisch, und wenn sie nur einen halben Zoll [$= 1^1/_3$ cm] hält, so /: erhält sie einen Durchmesser von 36 Zoll [= 1 m]; aber der Ofen kann Scheiben von mehr als /: 18 Zoll [50 cm] Durchmesser nicht aufnehmen :/, so sollten die Scheiben dick genug sein, denn man muß die Scheiben beiderseits erhaben machen und doch eine genügende Randstärke behalten, um sie von der Maschine zum Feinschleifen und Polieren halten zu lassen. Das ist bei Scheiben von großem Durchmesser besonders notwendig. Will man Scheiben von geringerer Dicke haben, so muß man sie mit Sand heraussägen.

[Die Herstellung von Häfen, Rührern, Scheiben-, Senk- und allen Holzformen, um die Häfen und alles übrige herzustellen.]

/: Um die Häfen von Blatt 0 [ix] herzustellen, braucht man Ton aus Lengnau oder aus /: Plentsch. Den letztgenannten bevorzuge ich, obwohl er [114] etwas zu sehr mit Sand vermengt

/: ist. Aber ich entferne diesen mit einem feinen Sieb, durch das ich den geschlämmten Ton treten
/: lasse. Zum Schlämmen muß man genügend klares Quellwasser nehmen, damit die durchzulassen-
/: den Teile leicht durchtreten können. Wenn man für die geplante Herstellung [?] von Hafen und
/: Rührer genug geseiht hat, so läßt man den Ton sich in den Gefäßen, in die man ihn hinein-
/: geseiht hat, absetzen. Hat er sich auf dem Boden der Gefäße abgesetzt,
/: so zieht man das darüber stehende Wasser durch einen Heber ab. Es
/: wird, wenn es sich abgesetzt hat, klar sein wie dicklicher Brei. Dann
/: bringt man sie [die geschlämmte Tonerde] in die [Holz-] Formen, die
/: hergestellt sein sollten, wie sie es müßten, und wie man sie vorrichten
/: müßte. [Fast zwei Zeilen unleserlich.] :/ Um die Holzformen für die Häfen zu machen, sollte man sie aus Dauben zusammenfügen, wie man Holzeimer macht. Die Dauben sollten indessen etwa 2 Zoll [$= 5^1/_2$ cm] dick sein und mit starken Eisenringen umgeben. Man sehe die Zeichnung auf Tafel 7 [*x*]. Sie stellt eine Hafenform [115] dar, wenn sie ganz von oben nach unten in der Mitte durchgeschnitten wäre, in derselben Weise, wie alle Zeichnungen dieses Buches die Gegenstände darstellen[1]). *aa* ist die den Hafen umgebende Form, aus Dauben zusammengefügt, wie schon gesagt. *bb* ist die innere Form des Hafens ebenfalls in Dauben, *cc* dient zur Formung des inneren Hafenbodens, *dd* ist ein hölzernes Brett, worauf man die Formen stellt. *ee* ist ein auf das Brett *dd* aufgebrachter hölzerner Rahmen, um die Form an der richtigen Stelle zu halten.

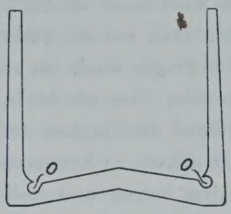


Abb. ix. Verbesserte Hafenform mit hochgelegter Bodenmitte.
oo im wesentlichen verdeckte Rinne um den Rand des Hafenbodens zur Aufnahme metallischen Bleis.
S. S. (52, 113).

ff ist ein weiterer, ebenfalls auf das Brett *dd* aufgebrachter Holzkreis, um die Lage der Form *bb* zu sichern, *hh* ist der Boden des Hafens, *jj* sind die Seitenwände des Hafens, *oo* dient zur Herstellung der Rinne rund um die Kante des Hafenbodens; man läßt [daneben] einen kreisförmigen Wall von Tonerde höher stehen als die Bodenfläche, damit man damit nachher die kleine Rinne abdecken kann. *gg* ist eine Holzplatte, die in die Form *aa* passen muß, um die untere Fläche des Hafenbodens zu formen. *h'h'* sind die Eisenringe rund um die Form. Man muß einen leinenen Sack vorsehen, in den man die innere Form *bb*, *cc* mit einiger Gewalt preßt. Ein zweiter Sack muß sich von oben nach unten [116] an die Innenwand von *aa* legen. Dieser Sack muß sich von oben nach unten an die Innenwand von *aa* legen; beide Säcke sollen verhindern, daß sich der Hafenton an die Formwände ansetze[2]). Auf diese Weise wird die Form hergestellt und gerichtet, um die geschlämmte Tonerde einzufüllen. Man nimmt die Platte *gg* aus der Form und füllt sie mit dem geschlämmten Ton, wie das auf Seite 159 und 160 beschrieben ist, die sich hier anschließen sollten, die ganze Form bis zur Höhe von *aa*. Man breitet alsdann ein Stück Leinwand auf den geschlämmten Ton, damit er nicht an der Platte *gg* haften bleibe. Auf diese Leinwand legt man den oberen Teil des Sacks, damit die geschlämmte Tonerde nicht entweichen kann, vielmehr muß sie von dem Sack vollkommen umschlossen werden. Alsdann legt man die Platte *gg* auf die Leinwand, und zwar oben auf den Sack

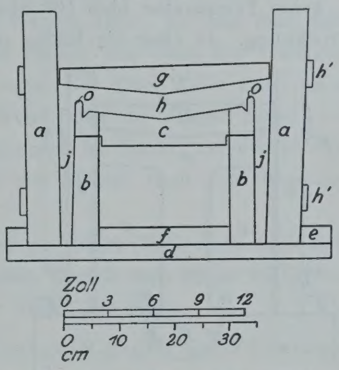


Abb. x. Holzform für die vervollkommneten Häfen.
aa eigentlicher aus Dauben zusammengefügter Körper.
bb Innenteil aus Dauben.
c Innenteil zur Formung des abschüssigen Hafenbodens.
dd Grundbohle.
e hölzerner Ausrichterahmen.
f innerer Holzboden in Kreisform.
g innerer Holzdeckel zur Formung des äußeren Hafenbodens.
h Hafenboden.
h'h' Eisenreifen um deu äußeren Daubenkörper.
j Hafenwandung.
oo Holzvorsprung an *c* zur Anlage der Rinnen von Abb. ix.
S. S. (115).

---

[1]) Für alle Ausmaße der Formen braucht man sich nur an den Maßstab unten an der 7. [x] Tafel zu halten.

[2]) Man muß kleine Löcher von 1 Linie [$= 2^1/_4$ mm] Durchmesser an allen Dauben und am Boden der Form anbringen, damit das Wasser ablaufen könne. Diese Löcher stehen voneinander um etwa 1 Zoll [$= 2^3/_4$ cm] ab.

und unterwirft alles einem starken Druck, und zwar belastet man die Platte *gg* immer stärker, bis sie schließlich unter einem sehr starken Druck steht, wie wenn etwa 3000 Pfunde [= rd. 1500 kg] auf die Platte drückten. Man muß indessen von Zeit zu Zeit immer die Platte *gg* abheben, um den Ton von den Seiten *aa* der Außenform abzunehmen, und zwar von ihren oberen Teilen; denn er wird sonst so hart, daß er [117] die Platte am Tiefersinken hindert trotz dem großen Druck, den man auf sie wirken läßt. So muß man den Hafenton pressen, bis er derart gehärtet ist, daß die Finger auch bei starkem Druck keine Spuren an ihm lassen, und dann nimmt man den Hafen heraus. Das geschieht, indem man ihn sodann umkippt und ihn von der Platte *dd*, *ee* befreit, darauf die Dauben der Form *bb* entfernt und schließlich mit Hilfe des sie umschließenden Sackes die Platte *cc* herauszieht und am Ende die Dauben *aa* entfernt. Dann ist der Hafen von seiner Form befreit und steht auf der Platte *gg*. Dort läßt man ihn ein wenig trocknen, bis man ihn wieder umkehren kann, ohne ihn zu verletzen oder umzuformen. Man muß mehrere Platten *gg* haben, um gleich danach eine neue Form herzustellen. Wenn der Hafen wieder umgekehrt ist und auf seinem Boden steht, so geht man noch einmal die Tonleiste am Rande des Bodens durch und bedeckt die kleine Rinne und macht ferner in Abständen /: rund herum :/ Löcher [118] an dem übergefalteten Ton rund an der Innenkante des Hafens herum. Diese Löcher haben $1\,^1/_4$ Linie [= $3\,^1/_4$ mm] Durchmesser. Sie stehen 6 Linien [= $1\,^1/_3$ cm] voneinander ab und sind alle so tief eingesenkt, daß sie bis in die kleine Rinne reichen. Man glättet sorgfältig den Boden und die Wandung des Hafens mit einem glatten Eisenspatel. Man bringt den Hafen alsdann in den Schatten, wo er nichts vor sich hat als einen Hofraum. Das Zimmer[1]) /: wo er steht, sollte /: keine Temperatur über 10° über dem Eispunkt haben. :/ Dort bleibt er bis zu vollständiger Austrocknung. Je älter die Häfen sind, je besser, denn in der Länge der Zeit wird der Ton gleichmäßiger hart, und er gewinnt in der Luft einen gewissen Zusammenhalt. Auf diese Art muß man die Häfen und die Rührer machen, und ebenfalls die Glasformen zum [Gießen] und zum Senken. Auf diese Art erhält man undurchlässige Häfen. Der Ton ist von selbst viel dichter und hält infolgedessen viel besser zusammen, als wenn man die Häfen [119] auf der Drehscheibe oder aus freier Hand formt, wie man das in den Glashütten macht. Anfänglich habe ich sie auch aus freier Hand gemacht, sah aber bald die große Verschiedenheit der einzelnen Stücke; die handgemachten werden in kurzer Zeit überall durchgefressen. Das kommt von den Höhlungen im Boden, die man mit schwarzer Farbe verdeckt. Aber die Häfen aus geschlämmtem Ton werden nicht durchgefressen, sondern das Glas greift sie überall gleichmäßig an, sie sind dauerhafter und stärker, auch platzen sie unter dem Gewicht der Glasfüllung nicht so bald.

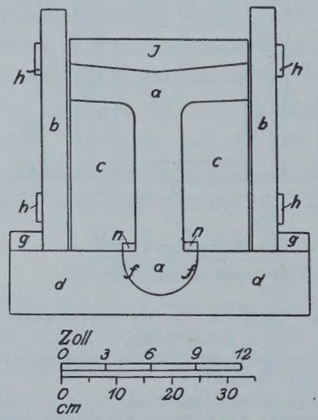


Abb. xi. Holzform für einen pilzförmigen Rührer.

aa Rührer der letzteren Form (s. auch Abb. v).
bb eigentlicher aus Dauben zusammengefügter Körper.
cc vierteiliger Hohlzylinder aus Holz.
dd Grundbohle.
faf in *dd* gearbeitete Einsenkung.
nn Haken (zum Fassen der Klemmhaken p_0 von Abb. v).
gg hölzerner Ausrichterahmen.
hh Eisenreifen um den äußeren Daubenkörper.
J innerer Holzdeckel zur Formung der einspringenden Unterfläche des Rührers *aa*.
S. S. (119).

[Die Herstellung der Rührerformen und der Rührer selbst.]

Man sehe nun die Beschreibung der Rührerformen; sie werden in entsprechender Weise hergestellt wie die für die Häfen. Man sehe die Zeichnung auf Tafel 8 [x i], wo die Form für einen Rührer wiedergegeben ist. *aa* ist der Rührer, *bb* die Dauben der Form, die den Durchmesser der Platte des Rührers bestimmt. Ferner den hölzernen Hohlzylinder *cc*, wie er aus vier Stücken besteht, damit man ihn abnehmen kann, ohne den Rührer zu beschädigen. Diese vier Stücke bilden eben den Stempel des Rührers. *dd* ist eine Holzbohle [120], auf der die Form steht. *faf* ist ein Hohlraum in der Mitte der Tafel oder Bohle *dd*, um dem Stempelkopf des Rührers seine Form zu geben mit den Haken *nn*, an denen der Eisenstab angreifen muß, wie das auf S. 69 ge-

[1]) Man sollte den Hafen in einen Raum mit 10° R [= 12,5° C] über dem Eispunkt bringen.

schildert ist. *gg* ist ein Holzreif, der auf die Bohle *dd* genagelt ist, um sie in der richtigen Stellung zur Form zu erhalten. *hh* sind zwei eiserne, die Form zusammenhaltende Reifen. *JJ* ist eine Holzplatte, die die untere Fläche der Rührerplatte formt. Man muß einen Leinensack vorsehen, damit sich der Ton nicht an das Holz ansetze. Er muß so gemacht werden, daß er sich überall an die Innenflächen der Form anlegen kann, und lang genug an dem Außenende der Rührerplatte, so daß er oben an der Form heraussieht und über der Leinwand zusammengefaltet werden kann, die man unter [121] die Platte *JJ* legt. Ist die Form mit geschlämmtem Ton angefüllt, so ist die Form besorgt; man braucht sie eben nur mit geschlämmtem Ton anzufüllen und sie unter Druck zu setzen. Man muß alles so machen, wie es bei der Herstellung der Häfen auf S. 116 besprochen wurde. Man behandelt und glättet den Rührer, wenn er aus seiner Form kommt, genau so wie die Häfen und läßt ihn in demselben Raum wie jene trocknen.

Der für alle Öfen brauchbare Lehm.

Alle Lehmarten sind gut, sobald sie nicht kalkig werden, wenn man sie 2 bis 3 Stunden lang im Feuer hat bis auf Rotglut kommen lassen, und man kann sie für die Senköfen verwenden und selbst für die Öfen zum Glühen und Brennen der Spiegelformen und der Rührer. Aber für den letzten Ofen braucht man doch eine schwer schmelzende Erdart. Ich habe solcher nur eine rote gefunden bei Goudebat neben der großen Straße nach Les Pargots; die Stelle liegt auf dem Gebiet von Les Brenets. Er hält sich in ziemlich starkem Feuer gut genug und kann für die Kühlöfen dienen und für die Öfen zum Brennen der Spiegelformen und [122] der Rührer. Man muß aus ihm Fliesen von 8 bis 10 Zoll [= 21,5 bis 27 cm] Seitenlänge und 4 Zoll [= 11 cm] Dicke machen. Sind diese Fliesen so weit trocken, daß man sie noch mit einem hölzernen Hammer formen kann, so muß man mit dem Bau des Ofens beginnen und in dem Maße fortfahren, wie die Fliesen den Grad der Trockenheit haben, daß man sie mit dem hölzernen Hammer bearbeiten kann. Auf diese Weise kann man diesen Fliesen die für ihren Ort gerade geeignete Form geben. Wenn man die Fliesen formt, so nimmt man beim Kneten nach Möglichkeit die Steine heraus; Schlämmen ist besser, um alle Steine daraus zu entfernen. Denn diese Steine sind der Grund dafür, daß die Fliesen nach dem Brennen springen.

Man kann diese Lehmart auch brauchen, um die Schmelzöfen zu bauen [123], doch muß der Ofen innen mit Fliesen aus Hafenton ausgekleidet werden. Diese müssen überall etwa 18 bis 24 Linien [= 4 bis 5,5 cm] dick sein, wie man bei *oo* auf der Zeichnung der Tafel 5 (ν) sieht.

[Die Herstellung von fixem Alkali und die Vorsichtsmaßregeln gegen die Färbung des Glases dadurch.]

Zur Gewinnung von fixem Alkali gibt es mehrere Mittel, aber bei zweien an Zahl finde ich die geringsten Kosten. Ich werde sie nacheinander beschreiben.

Erstes Verfahren. Ich nehme 100 Pfund Pottasche von der besten Beschaffenheit, die ich finden kann. Als Anzeichen ihrer Güte dient es, daß sie in freier Luft schnell feucht wird[1]). Enthält sie nicht viel fixes Alkali, so wird sie nur feucht, wenn man sie der Luft lange aussetzt. Es gibt auch Sorten, die an der freien Luft nur ganz wenig feucht werden, während das die gute Pottasche sehr schnell wird und an freier Luft sogar völlig zerfließt. Sie wird noch einmal so schwer, so daß 100 Pfund sehr trockener Pottasche aus der Luft 100 Pfund Wasser anziehen, aber dann handelt es sich dabei um fast ganz reines fixes Alkali, und das kommt nur dann vor, wenn es aus Holz vom Weinstock stammt oder aus Weinstein, wie man es [124] beim zweiten Verfahren sehen wird. Wenn ich 100 Pfund Pottasche habe, sei sie gut oder schlecht, so fülle ich sie in ein irdenes, gut glasiertes Gefäß aus gutem Ton, wie dem von Couvet im Tale von Travers, gieße 100 Pfund ganz klares Wasser hinzu und koche beides so lange, bis die Pottasche ganz zergangen ist. Ich fahre mit dem Kochen fort, bis sich auf dem Wasser, wo es nicht kocht, eine Haut bildet. Alsdann lasse ich alles vollkommen kalt werden, und in dieser Zeit setzt sich die Asche und alle dem fixen Alkali fremden Stoffe ab. Die Salze kristallisieren aus und setzen sich an den Wänden und dem Boden des Gefäßes fest. Ich gieße die Flüssigkeit mit den Unreinigkeiten ab und lasse sie

[1]) Sie ist sehr weiß mit einem Stich ins Blaugrün.

durch zwei oder drei Doppelschichten von grauem [Fließ]-Papier treten. Um sie zu klären, lege ich ein Stück Leinwand auf einen irdenen Topf und breite das graue Papier darauf aus. Gieße ich dann die Flüssigkeit auf das Fließpapier, so fließt sie in den Topf. Alsdann lasse ich sie in dem irdenen, aber reinen Topf wallend kochen[1]) bis zum Trockenwerden, d. h. bis alles hart geworden [125] ist am Boden des tönernen Topfes. Alsdann nehme ich den Topf vom Feuer herunter, und wenn er sich abgekühlt hat, so tauche ich ihn mit seiner Außenseite ins Wasser und lasse ihn darin, bis sich der Klumpen Alkali von dem Topf ablöst. Man muß sich aber vorsehen, daß kein Wasser in den Topf läuft. Alle diese Töpfe sollten mit Draht umsponnen sein derart, daß sie, selbst wenn sie zerspringen sollten, doch durch die Drahtumspinnung zusammengehalten würden. Wenn der Block Alkali — denn jetzt ist es solches — aus dem Topf genommen ist, so muß man ihn in den Ofen *y'y'* auf den Tafeln 3, 4 und 5 [ii, iii, iv] schieben, und dort glüht man ihn aus. Auf die folgende Weise ist der Ofen zu heizen: Man bringt die Scheite in das Ofenloch *o* auf den gleichen drei Zeichnungen; der Ofen ist so angelegt, daß die Flammen unter der Heizfläche und an den Seiten des Ofens entlangschlagen, ehe sie in den Ofen *y'y'* gelangen. Von da ziehen sie in dem ganzen Gewölbe entlang nach dem Auslaß [126], so daß der Block Alkali die Hitze gleichmäßig von allen Seiten erhält. Man muß übrigens den Block in Stücke zerschlagen, da er dann der Hitze und der Luft eine größere Fläche darbietet, was das Ausglühen befördert. Man muß den Ofen so befeuern, daß das Alkali überall rotglühend ist. Dies Ausglühen ist vorteilhaft, um alles Brennbare zu verbrennen, namentlich den Ruß oder das Rauchschwarz, das beim Kochen in das Alkali gelangt sein kann, oder in die Pottasche, sei es bei der ersten Herstellung oder bei der Reinigung. Alles dies muß verbrennen, denn bliebe es im Alkali, so würde es das Glas in unerwünschter Weise gelb färben, was man auch nicht mehr entfernen könnte, wenn der Satz einmal geschmolzen ist. Darum [127] muß man das Alkali gut ausglühen, ehe man es in den Satz eingehen läßt. Ist es gut ausgeglüht, so läßt man es im Ofen erkalten, zieht es sodann heraus und stößt es so fein wie möglich. Indessen ist es schwierig ganz fein zu bekommen, weil es sofort Feuchtigkeit anzieht. Sobald es gestoßen ist, muß man es in den Glassatz tun und es sofort gut mischen. Alsdann tut man es in ein tönernes oder fichtenes Gefäß und deckt es gut zu, damit es nicht zu feucht wird. Andere Gefäße als tönerne, gläserne oder fichtene sollte man nicht verwenden, denn alle andern geben dem Alkali eine schlechte Farbe; ganz gleichgültig ob es sich um seine Reinigung handelt, oder wenn es schon mit den andern Bestandteilen des Satzes vermengt ist. Metallgefäße werden von dem Alkali ein wenig angegriffen, und das macht das Glas farbig [128]: Kupferne Gefäße geben dem Glas eine grüne, eiserne eine rote, eichene eine tief braune Färbung, was mir mehr als einmal begegnet ist. Ist das Alkali durch das Filter gelaufen, wie auf S. 124 beschrieben, so sieht man gleich, ob es farbige Bestandteile enthält, denn dann ist die Flüssigkeit nicht ganz klar. Enthält das Alkali Lösungen von Metall, so vermag das Ausglühen nicht, sie ihm zu nehmen. Dann hilft nur das Ausfällen aber auch nur unvollkommen. Daher sollte man sich sehr hüten, sich irgendwelcher metallener Werkzeuge zu bedienen, wenn man /: nachdem :/ an der Herstellung von Alkali arbeitet.

[129] Die zweite Art, fixes Alkali herzustellen.

Man muß dafür vier Zentner Weinstein[2]) nehmen und ihn in den auf den Tafeln 3, 4 und 5 [*ii, iii* und *iv*] dargestellten Ofen *y'y'* bringen. Man befeuert ihn und hält damit an, bis der Weinstein völlig durchglüht ist, also nirgendwo mehr schwarz erscheint. Er muß überall weißlich grau sein. Dann läßt man ihn im Ofen erkalten, und wenn das geschehen ist, so schüttet man ihn in 100 Pfund klaren Wassers und kocht alles, bis man am Boden des dafür benutzten Kochgefäßes nur noch Asche sieht. Mit den Werkzeugen muß man ebenso vorsichtig sein, wenn man auf diese Weise Alkali machen will wie im vorhergehenden Falle. Ist kein weiterer Bodensatz mehr als Asche

---

[1]) Beim Kochen muß man das gemeine Salz, das sich am Boden des Gefäßes absetzt, mit einer eisernen Rührkelle entfernen.

[2]) Man muß sich vorsehen, daß darin nicht Stücke von der /: eichenen :/ Faßwandung liegen. Denn diese ist aus Eichenholz, was seinerseits den Weinstein verschlechtert. Ich habe dabei oft schlechtes Alkali gewonnen, und darum ziehe ich gute Pottasche vor.

in dem Kochgefäß, so muß man [130] es in dem Gefäß erkalten lassen. Ist das geschehen, so filtert man die Flüssigkeit durch das Papier, wie es auf S. 124 beschrieben ist. Danach kocht man es bis zum Dickwerden von dicklichem Brei ein, oder, was eine bessere Regel ist, bis ein Tropfen davon, den man auf eine kalte Eisenplatte fallen läßt, halbrund und einigermaßen starr /: ist :/ bleibt. Dann muß man das Alkali zu den andern Bestandteilen des Satzes geben und gut durcheinander mischen[1]). Alsdann bringt man den Satz in den Schmelzofen oder tut ihn in die Gefäße, die bis zur Schmelzung wohl zu schließen sind. Wenn man seinen Weinstein nicht vollkommen scharf gebrannt hat, so muß [131] man das Alkali ausglühen, nachdem man es bis zur Undurchsichtigkeit eingekocht hat, alles ebenso wie man es mit dem Alkali aus der Pottasche nach der Beschreibung auf S. 125 unten getan hat. Wenn der Weinstein nicht genügend gebrannt worden ist, so erkennt man das daran, daß die Flüssigkeit nach ihrem Durchtritt durch das Filter nicht so durchsichtig ist wie ganz klares und farbloses Wasser. Denn wie gering auch die Farbigkeit der Flüssigkeit sein mag, so ist es sicher, daß das Glas nicht völlig durchsichtig ausfällt. Der Satz ist 50 Pfund [38,5 Hundertteile] weißen Sandes (durch ein feines Sieb von Seide geschickt oder gut geschlämmt, um den groben Sand und Ton zurückzuhalten, die sich etwa darin finden), ferner 60 Pfund [46 H.] gesiebten Mennigs und 20 Pfund [15,5 H.] Alkalis so lange eingekocht, bis der Tropfen auf der Eisenplatte halbkugelförmig bleibt, wie das oben bei dem Abschnitt zur Bereitung von fixem Alkali gesagt wurde.

[132] Um das hochbrechende Glas herzustellen, wenn man es in seinem Schmelzhafen erkalten läßt.

Man schmelzt den Satz auf dieselbe Weise, wie wenn man es gießen wollte, wie es auf S. 71 beschrieben ist. Wenn man aber das Glas zum letzten Male durchgerührt hat, so muß man den Rührer im Glase in die Höhe drehen und 20 Minuten lang beim Drehen die Platte des Rührers nur zur Hälfte im Glase lassen. Dann bewegt sich das Glas in sich selbst und wird weniger fadenreich. Der Rührer soll sich in 2 bis 3 Sekunden einmal umdrehen. Man braucht ihn nicht länger als 15 bis 20 Minuten zu drehen, denn sonst steigen die Fäden vom Boden des Hafens in der Glasmasse zu hoch und schädigen sie. Sobald man die Bewegung des Rührers von oben nach unten abgestellt hat, muß man rühren wie beschrieben, und wenn man auch diese einfache Drehung um die Achse anhält, [133] muß man den Rührer aus dem Glase herausnehmen[2]). /: Unmittelbar da-
/: nach bedeckt man die Oberfläche des Glases mit weißem Sande, und zwar so schnell wie mög-
/: lich, damit keine Glastropfen von der Rührerplatte in die Glasmasse fallen. Es sollten mindestens
/: 8 bis 10 Linien [= $1\,^3/_4$ bis $2\,^1/_4$ cm] Sand auf der Glasoberfläche liegen. Das verhütet Fäden, die
/: an der Glasoberfläche entstehen, am Auftreten und am Absinken in die Glasmasse, wie das auf
/: S. 41 //. und 91 :// beschrieben ist. Liegt der Sand auf der Glasfläche, so muß man noch den
/: gleichen Hitzegrad beibehalten, wie er für das letzte Durchrühren erzielt worden war, und zwar
/: zwei Stunden lang, ohne daß man an den Rührer faßt, aus derselben Furcht, daß die Fäden vom
/: Hafengrunde in der Glasmasse zu hoch steigen. Die Aufrechterhaltung desselben Hitzegrades
/: während zweier Stunden, wie ich es soeben beschrieben habe, geschieht aus zwei Gründen [?].
/: Der erste ist der, daß das Glas dadurch gleichartiger werde, weil sich die durch das Rühren ge-
/: trennten Glasteilchen wieder zusammenschließen. Denn sicherlich hat der Rührer Teile in das
/: Glas gebracht, wo er solche Glasteilchen absetzte, die das Glas fadenreich machen, und außerdem

---

[1]) Man kann ebenso mit dem Alkali aus Pottasche verfahren, wenn man sieht, daß es weiß genug ist, ohne es auszuglühen. Man kann es zu dem Satz mischen wenn es soweit eingekocht ist, daß ein Tropfen davon auf einer kalten Eisenplatte rund bleibt. Wenn man es ausglühen muß, so kann man es über Feuer wiederholt in demselben Topf in ein wenig Wasser lösen und so lange einkochen, bis der Tropfen auf [131] der Eisenplatte halbkuglig bleibt. Dann muß man es zu den andern Bestandteilen des Satzes mischen. Auf diese Weise mischt sich alles viel besser durch, als wenn man das Alkali nach dem Ausglühen klein stößt.

[2]) Aber nicht höher ziehen als einen halben Zoll ($1\,^1/_3$ cm) von der Glasoberfläche, dann das Feuer stoppen, den Ofen 4 bis 5 Stunden offen lassen und ihn alsdann allmählich schließen.

/: [134] hat der Rührer, selbst wenn er nichts absetzte, doch mindestens bei seinem Umlauf die /: Glasteilchen getrennt und ihren Zusammenhang aufgehoben, wie das auf S. 93 gesagt wurde. Der /: zweite Grund für die Sandschicht auf der Glasoberfläche ist der, daß man das Glas nach der Sand- /: bedeckung auf demselben Hitzegrade halten sollte, damit es nicht milchig und halbdurchsichtig /: werde, wenn es sich langsam abkühlt. Denn nach den beiden Stunden, die man denselben Hitze- /: grad nach der Sandbedeckung, wie soeben beschrieben, aufrecht erhalten hat :/ muß man den Ofen schließen, um alles langsam kühl werden zu lassen, ohne daß der Glasblock infolge allzu plötzlicher Abkühlung springe. /: Wenn man daher das Glas nicht auf demselben Hitzegrade läßt /: für eine halbe Stunde, nachdem [135] man seine Oberfläche mit Sand bedeckt hat, so kommt es /: leicht dazu, daß die Glasmenge bei der Abkühlung ihre Durchsichtigkeit nicht behält. :/ Könnte man es schneller erkalten lassen, zum mindesten so, wie man es mit dem in Kuchen- oder Scheibenform gegossenen Glas tut, so würde es durchsichtig bleiben. Das ist aber darum nicht möglich, weil der Glasblock zerspringen würde, denn seine Masse ist zu groß, auch haftet er am Boden und an der Wandung des Hafens, was die Zusammenziehung der Glasmasse bei der Abkühlung hindert; diese Zusammenziehung würde auf den Mittelpunkt des Glasblocks hin erfolgen, würde aber von dem Hafen gehindert, der bestrebt ist, das Glas zu sich hinzuziehen. Bei dem gegossenen Glase verhält es sich anders, denn diese Stücke sind frei und ziehen sich nach ihrer eigenen Mitte hin zusammen, weil die Gießformen nicht an ihnen haften und die Zusammenziehung der Glasscheiben hemmen[1]).

Das Glas verliert seine Durchsichtigkeit bei langsamer Abkühlung und weil [136] die Glasteilchen nach dem Durchrühren nicht so innig vereinigt sind, wie sie es bei einer nicht durchgerührten Schmelze sein würden[2]). /: Darum muß man es eine Zeitlang nach dem Durchrühren in /: der Hitze lassen, damit die Glasteilchen ihre innige Vereinigung wieder annehmen, wie sie vor /: dem Durchrühren bestand. All dies bezieht :/ sich nur auf einmal geschmolzenes Glas. Denn /: wenn man Glas ein zweites Mal oder noch häufiger schmilzt, so gibt es andere Gründe und Ur- /: sachen, weshalb es bei der Abkühlung halbdurchsichtig wird. Man sehe S. 50. :/

[Der Grund, warum das im Schmelzhafen abgekühlte Glas nicht trübe wird.]

Damit das ein- oder zweimal geschmolzene Glas bei der Abkühlung im Schmelzhafen nicht halbdurchsichtig wird, muß man den Ofen zur Abkühlung überall öffnen und kein Feuer unterhalten, so lange bis der Ofen und der Hafen darin nur noch braunrot glühen. /: Beginnt man da- /: mit, sie der Abkühlung auszusetzen, unmittelbar nach [137] dem Werk, nämlich daß man den /: gleichen Hitzegrad beibehält, um das Glas seine innige Vereinigung wieder annehmen zu lassen, /: die vor dem Durchrühren bestand. Dann sollten Ofen und Hafen nur in braunroter Glut stehen. :/ Dann muß man damit beginnen, den Ofen ganz allmählich auf folgende Weise zu schließen. Man schließt die Abzüge zur Hälfte, und läßt es dabei während /: einer :/ halben Stunde. Dann schließt man die Hälfte der noch übrigen Hälfte und läßt es dabei /: eine :/ halbe Stunde lang. Schließlich macht man auch alles vollständig zu, was noch von Abzügen offen ist, und läßt es völlig kalt werden, ehe man den Hafen aus dem Ofen nimmt.

Es folgen die Gründe der Notwendigkeit dafür, den Ofen, wie soeben beschrieben, allmählich zu schließen: die Wärme soll ganz unmerklich abnehmen, ohne wieder anzusteigen, sobald man die Öffnungen schließt. Denn ließe man den Ofen erkalten, bis er eine schwarze Farbe annimmt, und schlösse ihn dann, so würde die Hitze im Innern der Ofenkacheln wieder ansteigen [138], und das würde das Glas wieder erhitzen. Das darf nicht geschehen, weil es dann wieder trübe werden würde. Man muß sehr darauf achten, daß sich das Glas während der ganzen Abkühlung nicht wieder erwärme, denn ist das der Fall, so wird es halbdurchsichtig, und zwar ebenso-

[1]) Die Undurchsichtigkeit schwindet aber wieder, wenn man es wieder erweicht, um ihm die letzte Vollkommenheit und die Form zu geben, /: die es haben muß, wie auf S. 92 gesagt :/.

[2]) Wenn man aber den Hitzegrad wieder ansteigen läßt, so wird das Glas in kurzer Zeit wieder durchsichtig. Dies betrifft nur Glas, das nicht öfter als ein- oder zweimal geschmolzen ist. Schmelzt man es aber 7 bis 8 Male, so wird es milchig, wenn man es langsam abkühlt. Man sehe auf S. 50.

wohl, wenn es nur einmal als wenn es mehrere Male geschmolzen würde. Man muß mit dem Befeuern des Ofens aufhören, wenn man nicht mehr rührt.

Es empfiehlt sich, das Glas in demselben Hitzegrade noch eine Stunde nach dem Aufhören des Durchrührens zu belassen, weil es dann weniger milchig wird, aber man kann nicht mehr lassen [139], aber man kann es nicht[1]) /: Sand auf das Glas werfen. Man müßte den hochgestellten Rührer /: langsam umlaufen lassen während der genannten Stunde. Auf diese Weise verhindert der Rührer /: durch sein Umlaufen die Bildung der an der Glasoberfläche entstehenden Fäden, aber nie so gut /: wie der auf die Glasfläche gebrachte weiße Sand. Überhaupt muß man so vorgehen, wie es am /: besten gelingt, um klares Glas zu erhalten. :/ Um zu wissen, wie man sich benehmen soll, um den Glasblock nach seiner Erkaltung zu bearbeiten, sehe man bei S. 111 nach und bei S. 84 wegen der Wiedererweichung der guten Stücke Glases und der Beschreibung des Senkofens. /: Das beste /: Mittel, die Fäden von der Glasoberfläche herunter zu verhindern, ist allein die Bedeckung des /: Glases mit weißem Sand. Aber wenn man den Glasblock zertrümmern will, um das gute Glas zu /: erhalten, ohne den Block zu zersägen, so kann man die Lage der Fäden nicht erkennen, um danach den Glasblock an den zweckmäßigsten Stellen zu zerschlagen. Bringt man den weißen Sand /: auf, so muß man es unmittelbar nach Entfernung des Rührers aus der Glasmasse tun. Aber wenn /: man den Glasblock zersägt und anpoliert wie auf S. 111 beschrieben, so ist das wohl das beste /: aber auch das langwierigste Verfahren. :/ (Schluß folgt.)

Referate.

Untersuchungen einiger technischer Zähigkeitsmesser.

Von S. Erk. *Zeitschr. f. Techn. Physik* **8**, *S. 595—599. 1927.*

Mittels des an anderer Stelle beschriebenen Absolut-Viskosimeters der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, welches die Zähigkeit im CGS-Maß (in Poise) zu ermitteln gestattet, wurden die Zähigkeiten von Anilin, Rizinusöl und neuen Mineralölen bei verschiedenen Temperaturen gemessen und dadurch Standardflüssigkeiten für die Eichung von Viskosimetern in einem Bereich zwischen 0,003 und 20 CGS-Einheiten gewonnen.

Das Englersche Viskosimeter, bei welchem die Flüssigkeit durch ihr eigenes Gewicht ausfließt, mißt die kinematische Zähigkeit ν. Zwischen ν und der Engler-Einheit E wurde die von Vogel abgeleitete Beziehung bestätigt. Bei $E = 0{,}96$ wird die Strömung im Engler-Apparat turbulent.

Das Vogel-Ossag-Viskosimeter erlaubt bequem Messungen bei verschiedenen Temperaturen. Seine Meßgenauigkeit beträgt $\pm 2\%$ zwischen 0° und 60°.

Beim Zähigkeitsmesser nach Lawaczek wird die dynamische Zähigkeit η durch die Fallzeit eines zylindrischen Körpers zwischen zwei Marken in einer mit der zu untersuchenden Flüssigkeit gefüllten Kapillare gefunden. Die Meßgenauigkeit beträgt bei Zimmertemperatur $\pm 2\%$.

Das Viskosimeter von Michell besteht aus einer Metallkugel, die so in die Hohlkalotte eines Handgriffs hineingedrückt wird, daß zwischen beiden sphärischen Flächen ein Film der zu prüfenden Flüssigkeit haften bleibt. η läßt sich aus einer durch Eichung zu findenden Apparatkonstante und der Zeit ermitteln, die die Kugel braucht, um infolge ihrer Schwere abzureißen. Die Meßgenauigkeit dieses sehr einfachen Apparates ist geringer, die Abweichungen vom Mittelwert aus 64 Versuchen betragen bis zu 13%. *Sewig.*

Profilkippregel.

An Hand des Instruments.

Die von der Firma C. Zeiss nach den Angaben von P. Walther gebaute Profilkippregel dient zur Aufnahme und Aufzeichnung von Querprofilen.

Das auf einem Meßtisch der üblichen Bauart benützbare Instrument hat als Hauptteile das Fernrohr A (Abb. 1) und das Lineal B; diese beiden sind so miteinander verbunden, daß die Kipp-

---

[1]) die ganze Zeit nach dem Durchrühren lassen, weil es dort vom Boden und der Glasoberfläche aus wieder Fäden bekommen würde.

bewegungen des Fernrohrs in vertikalem Sinn derart auf das Lineal übertragen werden, daß dessen Kante um einen Punkt in horizontalem Sinn gedreht wird. Liegt die Zielachse des Fernrohrs horizontal, so entspricht dieser Lage eine bestimmte, den Instrumenthorizont vorstellende Lage der Linealkante; wird die Zielachse um einen Winkel α nach oben oder unten gekippt, so wird die Linealkante um denselben Winkel α nach rechts bzw. links gedreht. Der Punkt, um den die Linealkante ihre Drehungen ausführt, ist der Nullpunkt einer an der Linealkante angegebenen Millimeterteilung.

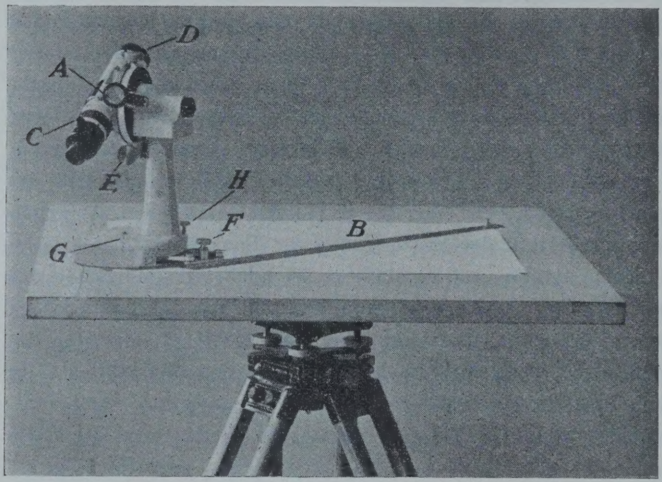


Abb. 1.

Das Fernrohr hat das Objektiv und das Fadenkreuz in unveränderlichem Abstand; die Einstellungen der Innenlinse erfolgen durch Drehen des Ringes C. Das Fernrohr vergrößert 25 fach; seine Additionskonstante wird mit null und seine Multiplikationskonstante mit 100 angegeben. Zum bequemen Aufsuchen der Zielpunkte ist das Fernrohr mit einer einfachen Zielvorrichtung versehen. Für die Scharfeinstellung in vertikalem Sinn hat das Fernrohr eine Klemmschraube D in Verbindung mit einer Feinbewegungsschraube E. Mit dem Fernrohr ist eine Nivellierlibelle verbunden, die zweckmäßigerweise die Form einer Doppellibelle hat.

Abb. 2.

Das mit zwei Paßstiften mit dem Instrument verbundene Lineal B kann nach Lösen der Halteschraube F abgenommen und durch ein anderes ersetzt werden. Dem Instrument sind drei, für den Maßstab 1 : 100 bestimmte Lineale beigegeben; das eine reicht nach beiden Seiten vom Drehpunkt aus bis 25 m, das andere nach der einen Seite bis 45 m und das dritte nach der anderen Seite ebenfalls bis 45 m.

Zu dem Instrument gehört eine 50 cm lange, mit Zentimeterteilung versehene Entfernungslatte A (Abb. 2), die an einem eine Dezimeterteilung tragenden Stab B nach Bedarf auf und ab geschoben bzw. eingestellt und mit einer Klemmschraube festgehalten werden kann. Die um eine mit der Mitte der Latte zusammenfallende Achse drehbare Latte ist mit einer senkrecht zur Latte liegenden Zielvorrichtung versehen, mit deren Hilfe die Latte bei vertikalem Stab senkrecht zur Fernrohrzielachse des Instruments gestellt werden kann, so daß mit dem Fadenentfernungsmesser des Fernrohrs die schiefe Entfernung zwischen Instrument und Latte gemessen werden kann.

Da die jeweilige Lage der Zielachse des Fernrohrs gegen die Horizontale in der Umklappung in die horizontal liegende Meßtischebene durch die Linealkante dargestellt wird, so kann man an dieser die entsprechende schiefe Entfernung antragen; man kann daher zusammen mit der Aufnahme eines Profils seine Aufzeichnung vornehmen.

Der Vorgang bei der Aufnahme und der Aufzeichnung eines Profils ist der folgende: Ist der Meßtisch über dem z. B. durch einen Pfahl gegebenen Ausgangspunkt des Profils mit Hilfe einer Dosenlibelle horizontal aufgestellt, so setzt man die Profilkippregel auf die Meßtischplatte, bringt das Fernrohr in die Richtung des Profils und hält die sich ergebende Stellung des Instruments auf der Meßtischplatte durch Eindrücken von zwei Nadelstiften G fest. Legt man jetzt die Zielachse mit Hilfe der Nivellierlibelle horizontal, so kann man den durch die Linealkante bestimmten Instrumenthorizont in der Zeichnung angeben. Nachdem die Entfernungslatte A (Abb. 2) an dem Stab B so eingestellt ist, daß ihre durch eine rote Marke angegebene Mitte ebenso hoch über dem unteren Stabende liegt wie die Kippachse des Instruments über dem Aufstellungspunkt, wird der Stab in den

festzulegenden Profilpunkten der Reihe nach vertikal aufgestellt und für jeden Punkt an der senkrecht zur Zielung gestellten Latte der Abschnitt l auf Millimeter genau abgelesen und damit die schiefe Entfernung $E = 100\ l$ bestimmt. Stellt man nun den Mittelfaden des Fernrohrs auf die Mitte der Latte ein und trägt man an der Linealkante die jeweilige Entfernung E an, so erhält man in einfacher Weise die einzelnen Punkte des Profils, die man nur noch entsprechend zu verbinden hat.

An das Instrument hat man insbesondere zwei Anforderungen zu stellen; erstens muß die Zielachse des Fernrohrs parallel zu den Achsen der Nivellierlibelle sein, und zweitens müssen die Drehungswinkel der Linealkante genau mit den Kippungswinkeln des Fernrohrs übereinstimmen. Die Untersuchung und unter Umständen erforderliche Berichtigung der gegenseitigen Lage von Zielachse und Libellenachse geschieht in bekannter Weise durch Ablesen an einer in etwa 50 m entfernt vertikal aufgehaltenen Latte in beiden Fernrohrlagen. Eine Untersuchung der zweiten Anforderung habe ich in der Weise ausgeführt, daß ich für einen vom Instrument aus unter einem Höhenwinkel von rund 23 Grad liegenden Punkt an einer Geländewand die horizontale Entfernung e und den Höhenunterschied h in bezug auf die Kippachse des Instruments das eine Mal mit dem Instrument und das andere Mal mit einem 25 m langen Stahlband bestimmte. Die Messung mit dem Stahlband ergab $e = 38{,}57$ m und $h = 15{,}22$ m; aus der Aufzeichnung mit dem Instrument fand ich $e = 38{,}65$ m und $h = 15{,}32$ m. Ein Vergleich dieser Werte zeigt, daß die mit der Profilkippregel erreichbare Genauigkeitfür die Aufnahme und Aufzeichnung von Querprofilen im Maßstab 1 : 100 vollständig genügt.

Die Verbindung zwischen Fernrohr und Lineal kann durch Anziehen eines — in der Abbildung nicht sichtbaren — Schnappstiftes gelöst werden; das Lineal kann dann durch Eindrücken des Steckers H in eine feste Verbindung zum Instrument gebracht werden, das dann — ein Vertikalkreis ist für diesen Zweck vorgesehen — als gewöhnliche Kippregel zur graphisch-tachymetrischen Festlegung von Punkten benützt werden kann.

Die Profilkippregel leistet sicher bei der Aufnahme von Querprofilen für Eisenbahn-, Straßen- und Wasserbauten gute Dienste; in Frage kommt sie zunächst für den Fall, daß es sich um eine große Zahl von Profilen handelt. Ob man die Aufzeichnung der Profile sofort im Gelände oder später im Zimmer vornehmen will, ist bis zu einem gewissen Grad Geschmacksache; es wird aber sicher viele Ingenieure geben, die gerne mit der Profilkippregel arbeiten und zweifellos eine wesentliche Zeitersparnis mit ihr erreichen werden. *P. W.*

Über die Feldausrüstung Zeiss Modell C 3b, ein Aufnahmegerät für terrestrische Photogrammetrie.

Von F. Schneider. *Bildmess. u. Luftbildw.* **2.** *S. 95. 1927.*

Die neue — schon seit mehreren Jahren hergestellte — photogrammetrische Feldausrüstung von C. Zeiss ist für stereophotogrammetrische Aufnahmen von der Erde aus bestimmt; sie besteht in der Hauptsache aus der Aufnahmekammer mit einer Feldjustiereinrichtung und den erforderlichen Kassetten, einem Repetitionstheodolit mit Vertikalkreis und Basismeßschraube, drei Dreifüßen mit Stativen und Zielscheiben und einer 1 m langen Basismeßlatte mit Verlängerungsstücken für 3 m Länge. Die Kammer und der Theodolit sind so beschaffen, daß sie getrennt benützt werden.

Die Kammer hat drei, übereinander angeordnete Objektive mit 19 cm Brennweite und gestattet die Aufnahme von 13 × 18 cm großen Bildern. Für die bequeme und sichere Aufnahme von Bildern in derselben Vertikalebene oder in parallelen Vertikalebenen ist die Kammer mit einer besonderen Einstellvorrichtung versehen, deren Zielachse in derselben Vertikalebene liegen muß wie die optische Achse der Kammer. Die auf diese Anforderung sich beziehende Untersuchung und eine unter Umständen erforderliche Berichtigung können mit Hilfe der beigegebenen Justiereinrichtung durchgeführt werden.

Die auf Grund von großen praktischen Erfahrungen gebaute Ausrüstung ist das zur Zeit beste Gerät für den angegebenen Zweck. *P. W.*

Ein neuer selbstrechnender Tachymeter.

Nach dem Katalog und Angaben von F. Süss-Budapest.

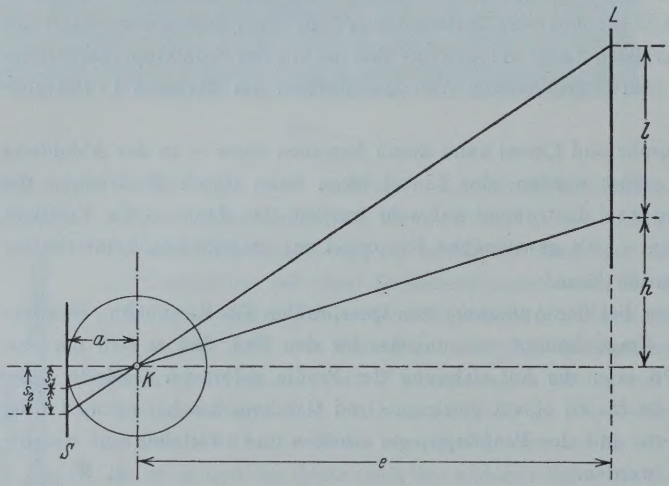
Die im Jahre 1884 von F. Süss gegründete und im Jahre 1923 bedeutend erweiterte Werkstätte zur Herstellung von geodätischen Instrumenten in Budapest hat eine neue Preisliste heraus-

gegeben. Von den in der Liste aufgeführten Instrumenten ist besonders ein nach den Angaben von J. Szepessy gebauter — in Deutschland, Österreich, Ungarn und England patentierter — Tachymetertheodolit zu erwähnen, mit dem man die horizontale Entfernung e und den Höhenunterschied h ohne Benützung der beiden bekannten Gleichungen $e = (c + kl) \cos^2 \alpha$ und $h = \frac{1}{2} (c + kl) \sin 2\alpha$ bestimmen kann.

Der Grundgedanke des neuen Tachymetertheodolits ergibt sich aus nebenstehender Abbildung, in der L eine im Zielpunkt vertikal aufgehaltene Latte und S eine im Abstand a von der Kippachse K des Instruments vertikal, mit dem Anfangspunkt in der Horizontalen durch K angeordnete gleichmäßige Skala vorstellen. Entspricht einem Skalenstück s, bestimmt durch zwei Skalenstriche mit den Werten s_1 und s_2 ein an der Latte abzulesender Lattenabschnitt l, so erhält man die horizontale Entfernung e zwischen Instrument und Latte aus

$$e = \frac{a}{s} l \quad \text{oder} \quad e = kl \quad \text{wobei} \quad k = \frac{a}{s}.$$

Den Höhenunterschied h zwischen der Kippachse des Instruments und dem unteren, durch s_1 bestimmten Lattenpunkt findet man aus



$$h = \frac{e}{a} s_1.$$

Bei dem neuen Instrument ist die Skala S zentral auf die Stirnfläche des Vertikalkreises projiziert und wird von hier mit Hilfe eines Linsen- und Prismensystems — in ähnlicher Weise wie bei dem bekannten Tachymeter von E. Hammer das Diagramm — in das Gesichtsfeld des Fernrohrs übertragen, in welchem demnach einerseits die Skala S und andererseits die Latte L erscheinen. Das 30fach vergrößernde Fernrohr ist mit innerer Einstelllinse versehen, so daß seine Länge unverändert bleibt; die Additionskonstante c des Fernrohrs ist gleich null, die durch den Horizontalfaden bestimmte Zielachse geht demnach — der Abbildung entsprechend — stets durch die Kippachse K.

Verwendet man das Instrument zu Punktbestimmungen für topographische Zwecke, so bestimmt man den dem Abstand s zwischen zwei Strichen der Skala S entsprechenden Lattenabschnitt l; man erhält dann die horizontale Entfernung e aus $e = kl$, wobei $k = 100$ ist. Ist s_1 der Wert der zur Bestimmung des Höhenunterschiedes h benutzten Striches der Skala S, so ergibt sich h aus $h = \frac{e}{100} s_1$ oder $h = ls_1$. Das neue Instrument ist demnach wie das bereits erwähnte Instrument von E. Hammer ein selbstrechnender Tachymeter; ein wesentlicher Unterschied in bezug auf die Bequemlichkeit bei der Ermittlung von e und h besteht zwischen den beiden Instrumenten nicht. Das Instrument von J. Szepessy bietet aber im Vergleich zu dem von E. Hammer den Vorteil, daß man es in einfacher Weise zur mittelbaren Messung von kürzeren Strecken mit einer z. B. für Polygonzüge vielfach genügenden Genauigkeit benützen kann.

Die Genauigkeit der Messung von kürzeren, etwa bis 150 m langen Strecken läßt sich mit dem neuen Tachymeter dadurch erhöhen, daß man in der Gleichung $e = kl$ unter Ausnützung der Länge der Latte L die Konstante k möglichst klein, also den Lattenabschnitt l möglichst groß wählt; dies erfordert allerdings zwei Fernrohreinstellungen. Der Vorgang bei der Messung besteht darin, daß man den Horizontalfaden des Fernrohrs zunächst genähert auf den Fuß der Latte und sodann genau auf den nächstgelegenen Strich der Skala S einstellt; hierauf stellt man genähert das obere Lattenende und dann genau den nächstgelegenen Strich von S mit dem Horizontalfaden ein. Sind

s_1 und s_2 die Werte der beiden eingestellten Striche der Skala S und l der den beiden Einstellungen des Horizontalfadens entsprechende Lattenabschnitt, so ergibt sich die horizontale Entfernung e aus

$$e = \frac{a}{s_2 - s_1}\, l \quad \text{oder } e = kl \quad \text{wobei} \quad k = \frac{a}{s_2 - s_1}.$$

Der Abstand a und die Skala S sind derart, daß k in jedem Fall eine runde Zahl ist. Nimmt man an, daß man den Lattenabschnitt l mit einem mittleren Fehler von $\pm$ 0,001 m bestimmen kann, und daß man die Latte in einer Länge von 3 m ausnutzen kann, so beträgt der mittlere Fehler der Entfernung e bei $e = 150$ m rund $\pm$ 5 cm, bei $e = 100$ m rund $\pm$ 3 cm und bei $e = 50$ m rund $\pm$ 1 cm; man wird demnach bei Entfernungen von 100 bis 150 m mit einem mittleren Fehler von statt $\pm$ 5 bis $\pm$ 10 cm rechnen müssen. Es ist dies eine Genauigkeit, die für manche Zwecke — z. B. Polygonzugmessungen als Grundlage für topographische Zwecke — ausreichend ist. Im Vergleich zu den neueren Instrumenten für feinere mittelbare Streckenmessung, die durchweg mit horizontaler Latte arbeiten, hat das Instrument von J. Szepessy die Vorteile der vertikalen Latte — bequemere Aufstellung der Latte und leichtere Sichtmöglichkeit — und den Nachteil der vertikalen Latte — Einfluß der Differenzialrefraktion —; in bezug auf die erreichbare Genauigkeit dürfte das neue Instrument im Nachteil sein. Praktisch mit dem Instrument durchgeführte Genauigkeitsuntersuchungen liegen offenbar noch nicht vor.

Bemerkt sei noch, daß an dem Vertikalkreis des Instruments auf der der Skala S gegenüberliegenden Seite eine gewöhnliche Gradteilung angebracht ist, so daß das Instrument auch zu Vertikalwinkelmessungen benutzt werden kann; im übrigen ist das Instrument ein Repetitionstheodolit von der üblichen Bauart.

Das Instrument ist bei der ungarischen Katasterverwaltung eingeführt, wo es besonders zur mittelbaren Streckenmessung bei Polygonzügen benutzt wird. *P. W.*

Die Feldermillimeterteilung im praktischen Gebrauch bei mittelbaren Entfernungsmessungen.

Von J. W. Dieperink. *Allgem. Vermess.-Nachr.* ***40.*** *S. 441. 1928.*

Der Verfasser hat die von ihm vorgeschlagene Ausführung einer Millimeterteilung[1]) zur mittelbaren Streckenmessung mit dem Fadenentfernungsmesser bei Polygonzügen benutzt und berichtet nun über die dabei gemachten Erfahrungen und die erreichte Genauigkeit. Die verwendeten Instrumente sind zwei Skalamikroskop-Theodolite von M. Hildebrand mit 30 und 35facher Fernrohrvergrößerung; die Multiplikationskonstante war bei beiden Instrumenten ungefähr 100. Die 1,25 m lange, bei der Messung auf einem besonderen Stativ horizontal aufgestellte Latte kann mit Hilfe einer fest mit der Latte verbundenen Zielvorrichtung so eingestellt werden, daß durch entsprechendes Drehen und Kippen der Latte in horizontalem und vertikalem Sinn die Ebene der Teilung senkrecht zur Zielachse des Theodolits steht; die Einstellung der Latte kann vom Theodolit aus nachgesehen werden.

Die Messung der einzelnen Strecken wurde in der Weise angeordnet, daß der Abschnitt der Latte zwischen den beiden vertikalen Distanzfäden achtmal bestimmt wurde; dabei wurde zwischen je zwei Bestimmungen der Theodolitoberbau mittels der Feinbewegungsschraube um einen kleinen Betrag gedreht. Der Verfasser hat auf diese Weise 874, zwischen 10 und 125 m lange Zugseiten gemessen und für jede Seite den aus der achtmaligen Messung sich ergebenden mittleren Fehler berechnet. Der größte mittlere Fehler war bei 38 etwa 50 m langen Strecken rund $\pm$ 2 cm, bei 106 etwa 75 m langen Strecken $\pm$ 3 cm, bei 172 etwa 100 m langen Strecken $\pm$ 4 cm und bei 36 etwa 125 m langen Strecken $\pm$ 4 cm; die durchschnittlichen mittleren Fehler waren $\pm$ 1,0 cm bzw. $\pm$ 1,2 cm bzw. $\pm$ 1,3 cm bzw. $\pm$ 2,0 cm. Mehrere rund 250 m lange Strecken wurden in zwei Teilen gemessen; der mittlere Fehler betrug im Durchschnitt $\pm$ 3 cm. Wie diese Zahlen zeigen, kann man bei Anwendung der „Feldmillimeterlatte" des Verfassers die Genauigkeit der Streckenmessung mit dem Fadenentfernungsmesser derart erhöhen, daß sie für viele Zwecke der Polygonzugmessung durchaus genügt. Daß dies der Fall ist, geht auch aus drei, vom Verfasser gemessenen,

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* ***44.*** *S. 381. 1924.*

1,7 km, 2,6 km und 2,8 km langen, beiderseits angeschlossenen Polygonzügen hervor, bei denen sich „totale Anschlußfehler“ von nur 10 cm, 24 cm und 15 cm ergaben.

Bei den mitgeteilten Messungen wurde eine Latte mit schwarzer Teilung auf weißem Grund verwendet; vorläufige Versuche mit einer weißen Teilung auf schwarzem Grund „geben Aussicht auf ein gutes Resultat“.

Wie die Untersuchungen des Verfassers zeigen, kann man mit dem von ihm vorgeschlagenen Verfahren ungefähr dieselbe Genauigkeit erreichen wie mit den in den letzten Jahren gebauten „Präzisionsdistanzmessern“. *P. W.*

Die Entwicklung der „Vektorintegratoren“ zur maschinellen Lösung von Potential- und Wirbelproblemen.

Von H. Föttinger, *Zeitschr. f. Techn. Physik* **9.** *S. 26—39. 1928.*

In einem theoretischen Teil gibt der Verfasser zunächst die für seine Zwecke notwendigen Tatsachen aus der Potential- und Strömungstheorie an. Er geht aus von der von Rankine erdachten „Methode der Zentralquellen“ zur Gewinnung guter Schiffslinien. Überlagert man z. B. einer ebenen Strömung von einer Quelle nach einer Senke mit dem bekannten Kreisbüschel als Stromlinien eine homogene Transportströmung z. B. mit der Richtung: Quelle—Senke, dann entsteht ein geschlossenes Oval, das die innere, von der Quelle gespeiste Strömung von der äußeren Transportströmung scheidet

Durch die Bewegung eines Zylinders mit beliebigem Querschnitt senkrecht zu seiner Achse entsteht eine ebene Strömung, die man statt durch eine Bewegung auch durch geeignete auf der Oberfläche verteilte Quellen und Senken oder Wirbel erzeugen kann. Die Quellen und Senken können

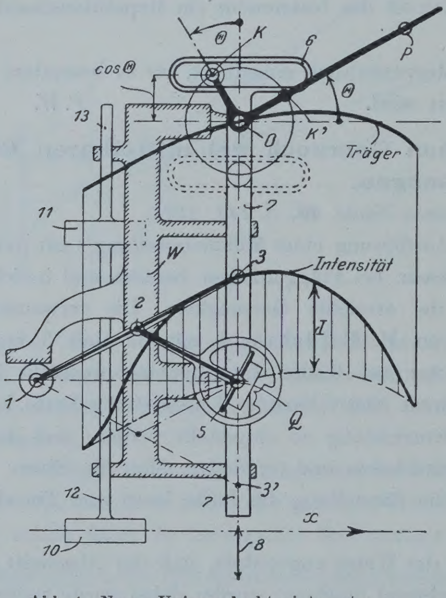


Abb. 1. Neuer Universalvektorintegrator. (Erstes Schema.)

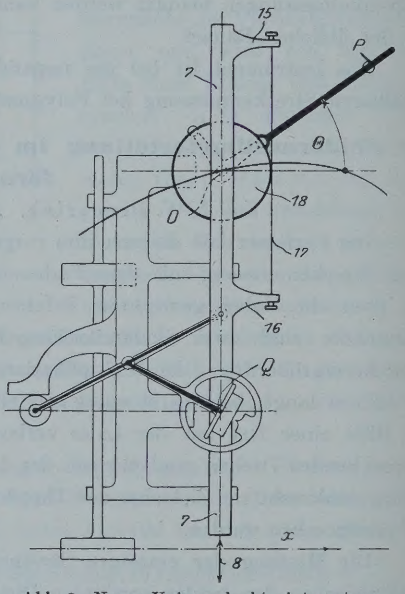


Abb. 2. Neuer Universalvektorintegrator. (Zweites Schema.)

stetig aufeinander folgen, nur ist ihre Ergiebigkeit als Funktion des Bogenelementes ds veränderlich Die Funktion $J(s)$ oder $J(x)$ die die „Belegungsintensität“ angibt, nennen wir „Belegungscharakteristik“. Ist der Querschnitt eines Zylinders gegeben und zugleich die Belegungscharakteristik, dann erhält ein beliebiger Aufpunkt in der Ebene den Fluß $\int J(x) \cdot K(X, x)\,dx$, wo X die Koordinate des Aufpunktes und $K(X, x)$ die Ortsfunktion angibt, d. h. das Gesetz, das angibt, wie der Fluß oder das Potential von der Lage des Aufpunktes abhängt. Als Ortsfunktionen kommen in Frage r^{-1}; r^{-2}; $\ln r$; Θ; $\cos\Theta$; $\sin\Theta \cdot r^{-1}$ u. a., wo r den Absolutwert des Radiusvektors von einem Oberflächenelement zum Aufpunkt und Θ den Winkel dieses Radiusvektors mit der Transportrichtung bedeutet. Durch Annahme vieler Aufpunkte und Berechnung obiger Integrale lassen sich Kurven konstanten Potentials und Kurven konstanten Flusses gewinnen. Obige Ortsfunktionen beziehen sich auf das ebene Problem und das achsensymmetrische. (Bewegung eines Rotationskörpers in Richtung der Rotationsachse.)

Die Belegungscharakteristik ist im allgemeinen nicht von vornherein gegeben, sondern wird durch ein rasch konvergierendes Verfahren gefunden. Der Verfasser zeigt, wie gute Näherungsfunktionen gewonnen werden können.

Für die Berechnung der Integrale $\int J(x) \cdot K(X,x) \cdot dx$ werden nun verschiedene Apparate angegeben, die je nach der Ortsfunktion $K(X,x)$ verschieden sind. Hier sei kurz das Prinzip des Föttingerschen Universalapparates erläutert, der die Integrale $\int J(x) \cos\Theta d\Theta$; $\int J(x) \sin\Theta d\Theta$ und $\int J(x) \cdot d\Theta$ zu bestimmen gestattet, wo J die graphisch gegebene Belegungscharakteristik oder deren Näherung bedeutet und Θ den Winkel zwichen dem Radiusvektor von einem Oberflächenelement zum Aufpunkt und der Transportrichtung.

Das Instrument der Abb. 1 ruht auf zwei durch eine Achse fest miteinander verbundene Rollen 10 und 11. In Richtung der Achse dieser Rollen ist ein Wagen W verschiebbar, der den Drehpunkt O trägt. P ist der relativ zur Unterlage ruhende Aufpunkt, eine nach oben gehende Spitze, in dem der Aufpunktarm OP gleiten kann. O ist der eine Fahrstift, der längs des Trägers geführt wird. Der Arm OP hat ein Ansatzstück OK rechtwinklig zu OP, dessen Rollenzapfen K in die Kurbelschleife 6 eingreift. Durch Drehung des Aufpunktarms um den Winkel $d\Theta$ wird die Schiene 7 7 offenbar proportional $\sin\Theta d\Theta$ verschoben $(d\cos\Theta = -\sin\Theta d\Theta)$, greift dagegen der Rollenzapfen K' in die Kurbelschleife ein, dann ist die Bewegung der Schiene proportional $\cos\Theta d\Theta$. Abb. 2 zeigt das Instrument für den Fall, daß die Bewegung der Schiene 77 proportional $d\Theta$ ist. Die Bewegung der Schiene wird nun von der Integrierrolle Q aufgenommen und zwar die ganze Bewegung, wenn die Ebene der Integrierrolle in die Bewegungsrichtung der Schiene fällt, im allgemeinen ist die Abwicklung der Integrierrolle proportional $\cos\varepsilon \sin\Theta d\Theta$, wenn ε den Winkel zwischen der Bewegungsrichtung der Schiene und der Ebene der Integrierrolle bedeutet. Nun wird $\cos\varepsilon$ proportional der Intensität $J(x)$ gemacht. Das geschieht mit dem Mechanismus 1 2 3 5. Der Punkt 5 ist relativ zu dem Wagen W fest, in 3 befindet sich der zweite Fahrstift, der längs der Intensitätskurve geführt wird. Man erkennt aus der Abb., daß der Punkt 5 eine zum Träger kongruente Figur (strichliert) beschreibt. Dementsprechend ist die Intensitätskurve nicht von der x-Achse aus, sondern von dieser strichlierten Trägerkurve aus aufzutragen. Um die doppelte Führung der Fahrstifte zu vermeiden, kann man den einen Fahrstift längs einer Blechschablone laufen lassen.

Die übrigen Apparate, die der Verfasser angibt, sind Sonderkonstruktionen für einzelne der oben angeführten Integrale und lassen wesentliche Vereinfachungen zu.

In den praktischen Anwendungen sind obige Integrale für sehr viele Aufpunkte zu berechnen Die Zeitersparnis durch Anwendung der Föttingerschen Instrumente ist eine bedeutende.

Jan Groeneveld.

Über Wolfram-Zirkonoxydöfen.

Von W. M. Cohn. *Zeitschr. f. techn. Phys.* **9.** *S. 110—115. 1928.*

Der Verfasser gibt zunächst einen Überblick über den gegenwärtigen Stand der Frage der Erzeugung hoher Temperaturen in Laboratoriumsöfen. Dazu hat er eine umfangreiche Literatur bearbeitet, die er in anerkennenswerter Weise zusammenstellt und nennt.

Er beschreibt dann Laboratoriumsöfen, die zur Erzeugung von Temperaturen über 2000° C von ihm entwickelt wurden, die gegenüber den bereits bekannten für verschiedene Zwecke Vorteile bieten. Das Ziel seiner Arbeiten war: für Temperaturen bis 1500° C das Platin zu ersetzen und für höhere Temperaturen einen einfachen Ofen zu entwickeln. Unter Verwendung von Wolframdraht und Zirkonoxyd als Baustoffe hat er dieses Ziel, so weit nach der Veröffentlichung beurteilt werden kann, vollständig erreicht.

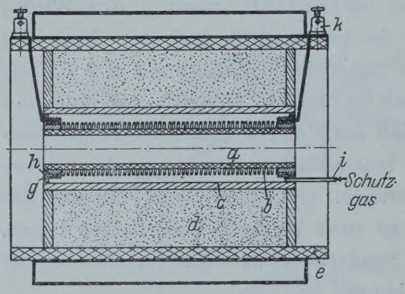
Er beschreibt zwei Ofentypen: einen mit Innenwicklung, den anderen mit Außenwicklung.

Im ersten Falle wird die Heizwicklung, deren Anfertigung er näher beschreibt, außen mit einer dünnen Schicht einer plastischen Masse, die aus Zirkonoxyden, etwas Dextrin und Wasser angerührt wird, überstrichen. Darüber wird ein Rohr aus hochgebranntem Zirkonoxyd gesteckt; der Zwischenraum mit Zirkonoxydpulver ausgestampft und beiderseits feuerfest verschlossen. Nach Entfernung des Kernes, um den die Spirale gewickelt wurde, liegt diese nach innen frei. Zur Verhütung der Bildung von Wolframsäure muß der Ofen mit Schutzgas beschickt werden. Als Schutzgas wurde ein Gemisch von 25% Wasserstoff und 75% Stickstoff verwendet, nachdem der

Wasserstoff nach einem besonderen vom Verfasser beschriebenen Verfahren gereinigt worden war. Geeignete Ofengrößen gestatten es, 2000° C verhältnismäßig rasch zu erreichen bei unmittelbarem Anschluß der Heizspirale an das Stromnetz.

Der beschriebene Ofentyp hat neben anderen den großen Nachteil, daß die Wolframspirale innen frei liegen muß und nicht wie Spiralen aus anderem Material, z. B. Chromnickel, in eine feuerfeste Schicht eingebettet werden kann. Die Heizspirale ist so der Kurzschlußgefahr und mechanischen Verletzungen besonders ausgesetzt.

Diese Nachteile vermeidet der Typ des Ofens mit Außenwickelung. Auf einem Zirkonoxydrohr werden vier dünne Prismen aus hochgebranntem Zirkonoxyd, die mit Einkerbungen versehen sind, befestigt. Um dieses Rohr wird der Wolframdraht — Drahtstärken 0,2 bis 0,3 mm — gewickelt, wobei die Einkerbungen dafür sorgen, daß die benachbarten Windungen ihren Abstand behalten. Die Spirale liegt somit fast ganz frei und dem Schutzgas gut zugänglich. Außen wird die Spirale wieder von einem Zirkonoxydrohr umgeben, das von einer Packung aus Magnesiapulver, die von einem feuerfesten weiterem Rohr gehalten wird, gegen Wärmeverlust geschützt wird. Erforderlichenfalls wird um das Ganze noch ein Wassermantel zur Kühlung gelegt. Für größere Öfen wird die Wolframspirale aus dickerem Draht gewickelt. Dabei wird zur Formgebung ein Eisenkern benutzt, um den der Draht, der an der jeweiligen Biegestelle durch ein Gebläse erwärmt wird, gewunden wird. Auch bei späterer stärkerer Erwärmung behält die Spirale nach dem Wickelungsprozeß ihre Form bei, nachdem sie nach Entfernung des Eisenkernes nur wenig auseinandergefedert ist. Die Spirale wird dann im Ofen ähnlich wie oben beschrieben, jedoch ohne jede Stützvorrichtung angeordnet. Bänder aus Wolfram oder Molybdänblech, die sich um Trageringe an den Enden des inneren Zirkonoxydrohres in Laschen legen, stellen die Verbindung zu den auf dem feuerfesten Außenrohr befestigten Stromzuführungsklemmen her.



Die nebenstehende schematische Abbildung erläutert die Konstruktion des Ofens näher. Es bedeuten: *a* das innere Zirkonoxydrohr, *b* die Heizspirale aus Wolframdraht, *c* das äußere Zirkonoxydrohr, *d* die Wärmeschutzpackung aus Zirkonoxydpulver, *e* das feuerfeste Außenrohr (Chamotte) mit dem Wassermantel, *g* Zuleitungsbleche mit Laschen, *h* die Trageringe für die Laschen aus hochfeuerfestem Material, *k* die Stromzuführungsklemmen und *i* die Schutzgaszuleitung.

Der eigentliche Heizkörper mit dem inneren Zirkonoxydrohr kann aus dem Ofen ohne Schwierigkeiten herausgenommen werden, was für die Kontrolle der Heizspirale sehr wichtig ist. Verhältnismäßig geringer Stromverbrauch, der in der Tat einfache Aufbau des Ofens und die Möglichkeit, ihn mit unmittelbar dem Netz entnommenem Strom zu betreiben, empfiehlt die vom Verfasser angegebene Ofenform ganz besonders. *W. Keil.*

Das Hangphänomen des Quecksilbers und ein neues Manometer.

Von C. Hagen. *Zeitschr. f. Techn. Physik* 8. *S. 599—603. 1927.*

Beim Messen sehr niedriger Drucke (sog. „Klebevakuum“) mit dem Mc. Leod-Manometer tritt das Hangphänomen auf: die in der Meßkapillare kompimierten Luftreste sind so spärlich, daß durch die (den Meniskus ganz oder teilweise bedeckende) Luftschicht hindurch die Adhäsionskräfte zwischen Glas und Quecksilber wirksam werden. So kommt es, daß das Quecksilber im kommunizierenden Schenkel beträchtlich gesenkt werden kann, ehe der Meniskus in der Kompressionskapillare abreißt. Es zeigte sich, daß die Hanglänge bei sonst gleichen Versuchsbedingungen eine reproduzierbare und auch von der Natur des Gases unabhängige Funktion des Druckes ist (eine Tatsache, die man ja schon früher benutzte, um aus der Hanglänge Drucke zu schätzen.) Bei halbrundem und stumpfwinkligem Abschluß der Kapillare treten verschiedene Hangkurven auf, bei spitzwinkligem Kapillarscheitel bleibt das Hangphänomen aus (abgezogene Kapillare!). Die theoretisch von Shimizo und Umedo unter der Annahme einer blasenförmigen Verteilung der Luft berechneten Hangkurven stehen mit den Messungen des Verf. in gutem Einklang. Neu und interessant ist die quantitative Messung mit dem Hangphänomen, die zur Konstruktion eines Kompressionsmanometers mit erheblich

erweitertem Meßbereich geführt hat, welches beschrieben wird. Es ist als normales Mc Leod und als Hangmanometer zu verwenden und leicht zu eichen. Genaue Angaben über die erreichte Grenze der Meßgenauigkeit fehlen. Es werden die Zahlen $1 \cdot 10^{-8}$ mm Hg und 150—200 mm Hanglänge genannt.

Sewig.

Ein Röhrenvoltmeter.

(A vacuum Tube Potentiometer.)

Von A. L. Fitch. *Journ. Opt. Soc. of America* ***14****. S. 348—354. 1927.*

Im Prinzip ist die Verwendung der Dreielektrodenröhre zum Vergleich von Wechselspannungen und die daraus unmittelbar folgende Anwendung zur Messung von Impedanzen und Ableitungen nichts Neues. Die Röhre dient, wie üblich, nur als Indikator, braucht also nicht geeicht zu werden, sondern nur während einer Messung genügend konstant zu bleiben. Über den Gitterableitungswiderstand wird abwechselnd die zu messende Spannung und die Vergleichsspannung angelegt. Für Frequenzmessungen dürfte die folgende Anordnung gelegentlich mit Vorteil anzuwenden sein. Der Wechselstrom durchfließt ein Selbstinduktionsnormal L von geringem Ohmschen Widerstand und einen winkelfreien Potentiometerwiderstand R. Das Röhrenvoltmeter wird abwechselnd an die Klemmen von L und R bis auf Spannungsgleichheit abgestimmt. Hat man $L = \frac{1}{2\pi}$ Hy gemacht, so ist $R = \frac{2\pi f}{2\pi} = f$ die Frequenz also direkt am Potentiometer abzulesen. Zur Erweiterung des Meßbereiches kann L gleich einem Vielfachen von $\frac{1}{2\pi}$ Hy gemacht werden. Die Unannehmlichkeit des Umschaltens auf die beiden Spannungen wird durch eine Zweiröhrenanordnung umgangen, welche für schnelle Messungen, die keine allzu hohe Genauigkeit erfordern, recht praktisch sein kann. Gitter und Anodenkreise der beiden Röhren sind in Gegentaktschaltung gelegt. Der eine Gitterkreis enthält X, der andere R, die beide hintereinander vom Meßstrom durchflossen werden, jeder Gitterkreis ferner eine besonders einstellbare Vorspannung; die Anodenkreise enthalten getrennte regelbare Widerstände und eine gemeinsame Anodenbatterie. Das Galvanometer ist an passend abgegriffene Punkte der Anodenwiderstände angelegt. Die Verschiedenheit der Charakteristiken der beiden Röhren wird dadurch möglichst unschädlich gemacht, daß man die beiden Gitterspannungen und die Anodenwiderstände so einregelt, daß die Arbeitskurven sich in zwei ziemlich benachbarten Punkten schneiden und dazwischen leidlich nahe benachbart sind. *Sewig.*

Über die Temperaturabhängigkeit des remanenten Magnetismus.

Von Hermann Gewecke. *Zeitschr. f. Techn. Phys.* ***9****. S. 57—60. 1928.*

Die oft recht erhebliche Temperaturabhängigkeit der Remanenz bei permanenten Magneten macht sich bei deren Verwendung in Meßinstrumenten (Zählern, Tachometern) unangenehm bemerkbar. Im allgemeinen nimmt die Liniendichte mit wachsender Temperatur ab, jedoch ist es auch schon gelungen, Dauermagnete mit positivem Temperaturkoeffizienten der Remanenz herzustellen (Ashworth, Frank). Solche Magnete, die durch schroffe Härtung von Nickelstählen gewonnen werden können, haben aber im allgemeinen ein zu geringes magnetisches Moment, als daß ihre praktische Anwendung in den meisten Fällen angebracht wäre. Verf. untersuchte die reversible Änderung des permanenten Magnetismus in Abhängigkeit von der Temperatur an einer Reihe von Stäben und Drähten von 1—6 mm Durchmesser und 250—300 mm Länge. Die Probestücke wurden durch das homogene Feld einer langen Spule magnetisiert und die Liniendichten durch Abziehung einer Meßspule vom Stab mittels eines ballistischen Galvanometers gemessen. Es werden Alterungskurven von Wolfram- und Chromstahl sowie naturharten und gehärteten Stahldrähten angegeben. Ein hoher positiver Temperaturkoeffizient der Remanenz kann durch starke mechanische Verfestigung erhalten werden. Durch zweckmäßige Wärmebehandlung soll man so Magnete herstellen können, die zwischen 15° und 100° einen Temperaturkoeffizienten nahezu gleich Null haben. Weitere Ausblicke für die Untersuchung werden angegeben, namentlich mit Hinblick auf die Beobachtung, daß die Temperaturabhängigkeit der Remanenz vom Entmagnetisierungsfaktor abhängt.

Sewig.

Eine monometallische Kompensationsunruh.

Von R. Straumann. *Uhrmacherkunst* **53**. *S. 592. 1928.*

Die Quelle behandelt, leider sehr kurz, die Herstellung einer monometallischen und antimagnetischen Unruhe, die mit der Elinvar-Spirale eine besonders günstige Kompensation des sekundären Temperaturfehlers ergeben soll.

Das verwendete, in der Veröffentlichung nicht genannte Unruh-Material wird vor der Formgebung einer „speziellen Kaltbehandlung" unterworfen, so daß sein Kleingefüge vorzugsweise in eine Richtung orientiert wird. Damit wird die thermische Ausdehnung des Materials in verschiedenen Richtungen verschieden und eine Unruh daraus wird bei Temperaturveränderungen ovale Form annehmen. „Durch Versetzen der Schrauben können die gewünschten Kompensationseffekte erzielt werden."

Serien von Uhren, die mit diesem Balancier Straumann versehen sind, haben sich als praktisch unempfindlich gegen Temperaturveränderungen erwiesen.

Die neue Unruh wird zusammen mit der zugehörigen Elinvarspirale von der Société des fabriques de spiraux reunies in La Chaux-de-Fonds vertrieben. *G.*

Das Sigmaverfahren zur Schmierung feiner Mechanismen.

Nach einem Prospekt der Firma Dr. Paul Cuypers in Dresden.

Das neue Schmierverfahren beruht auf folgenden von dem französischen Chemiker P. Woog im Versuchswege gewonnenen Erfahrungen. Die früher für Feinschmierung verwendeten Öle organischen Ursprunges, wie Knochen-, Oliven-, Fischöl usw. unterliegen mit der Zeit in starkem Maße der Verdickung, Verseifung und Verharzung. Auch in frischem Zustand wird ihre Zähigkeit bei niedrigen Temperaturen wesentlich vergrößert. Das hat dazu geführt, Mischungen von tierischen und Mineralölen zu verwenden, allerdings ohne die erwähnten Mängel der reinen organischen Öle vollständig auszuschließen. Die Verwendung reiner Mineralöle, die sich durch gute Schmierfähigkeit auch bei tiefen Temperaturen und unbegrenzte Haltbarkeit auszeichnen, scheiterte bisher an ihrer starken Benetzungsfähigkeit, die dazu führt, daß das Öl die kapillaren Räume der Zapfenlager verläßt und sich über alle Metalloberflächen des Mechanismus ausbreitet. Diese Ausbreitung wird nun nach einem Woog — u. a. auch in Deutschland — patentiertem Verfahren dauernd dadurch verhindert, daß die zu ölenden Teile mit gewissen in Benzin gelösten Karboxylen überzogen werden, die nach dem Verdunsten des Lösungsmittels eine hauchdünne Schicht auf den Metallteilen bilden. Diese Schutzschicht verhindert das Breitlaufen auch des dünnsten Mineralöles und erhöht auch gleichzeitig seine Schmierwirkung. Wichtig ist auch, daß man für gewisse Zwecke, wie Flugzeuguhren und Registrierapparate für große Höhen, die starke Kältebeständigkeit gewisser Mineralöle ausnutzen kann.

Lediglich bei höheren Temperaturen, etwa über 60°, wurde die beabsichtigte Wirkung der Schutzschicht auf bestimmten Stoffen beeinträchtigt. Günstiger verhielten sich nur Gold, poliertes Platin, Silber, Rubin, Saphir, Glas; einwandfrei blieb die Verminderung der Adhäsion auf Chrom und Nickel bzw. stark nickelhaltigen Legierungen.

Die Firma Cuypers (Dresden N 6, Großenhainer Str. 34b), die seit langem führend auf dem Gebiet der Feinschmierung tätig gewesen ist, bringt demgemäß unter der geschützten Bezeichnung „Sigma" die oben in Anwendung und Wirkungsweise erläuterte „Sigma-Lösung" sowie vier in ihrer Viskosität abgestufte „Sigma-Öle" (Sa extra dünn — Sd dickflüssig) in den Handel. Die Sigma-Lösung wird mit einem feinen Pinsel oder durch Eintauchen der zu schützenden Teile aufgetragen.

Je geringer der Zapfendruck und je größer die Zapfengeschwindigkeit, desto dünnflüssiger muß das Öl sein, während stärkerer Druck und geringe Geschwindigkeit dickflüssigeres Öl erfordert.

Die Sigma-Öle sind von namhaften Uhrmachern und von wissenschaftlichen Anstalten über einen längeren Zeitraum mit günstigstem Erfolge erprobt worden. So hat die Schweizer. Meteorologische Zentralanstalt in Zürich bei ihren auf hochalpinen Stationen aufgestellten Registrierapparaten in dem Zeitraum von 18 Monaten seit Einführung des Sigma-Ölverfahrens im Gegensatz zu früher bei Temperaturen von — 30° und weniger sicherstes Funktionieren festgestellt. *G.*

Bücherbesprechungen.

Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften, herausgegeben von der Schriftleitung der Naturwissenschaften, Bd. 6. Gr. 8⁰. III, 378 S. mit 85 Abb. Berlin 1927, Julius Springer. 24,— RM.; geb. 25,50 RM.

Der vorliegende Band der „Ergebnisse" enthält elf Beiträge aus der Feder namhafter Fachgelehrter über Fragen der reinen und angewandten Naturwissenschaften, die z. Z. besonderes Interesse beanspruchen oder über die ein zeitgemäßer zusammenfassender Bericht angebracht erschien.

In dem ersten Aufsatz behandelt H. Vogt den inneren Aufbau und die Entwicklung der Sterne (26 S.), im zweiten E. Freundlich die Energiequellen der Sterne (17 S.). Auf beiden Gebieten der astrophysikalischen Forschung sind in letzter Zeit bedeutende Fortschritte erzielt worden. Besondere Erwähnung verdienen die Schlußfolgerungen, zu denen Freundlich gelangt: Daß es nach den heute geltenden Anschauungen völlig ausgeschlossen erscheint, die Energieerzeugung im Inneren der Sterne durch dauernde Umwandlung von Materie in Strahlung aus bekannten thermodynamischen Prinzipien abzuleiten und die Andeutung: Daß vielleicht bisher unbekannte physikalische Vorgänge, wie die, die die sogenannte durchdringende Strahlung erzeugen, für die energieerzeugenden Prozesse im Sterninneren verantwortlich zu machen sind.

Im dritten Beitrag berichtet W. Steinhaus über unsere Kenntnis der Natur der ferromagnetischen Erscheinungen und von den magnetischen Eigenschaften der Stoffe. Die Bedeutung der magnetischen Forschungen für die Technik im Sinne einer folgerichtigen Verbesserung der Energiewirtschaft wird mit erfreulicher Klarheit herausgearbeitet. Der wirtschaftliche Erfolg dieser, wie überhaupt der auf technische Ziele eingestellten Forschung, rückt diese vielfach ohne ersichtlichen Grund mißachteten Forschungsrichtungen in das Licht, das sie ebenso wie die „Forschung an sich" beanspruchen können. Es folgen dann die Aufsätze:

Optische Bestimmung des Dissoziationswärme von Gasen, von H. Sponer (29 S.);

Zur Kenntnis des adsorbierten Zustandes von H. Cassel (20 S.), Zustandsgleichung und Zustandsbegrenzung des festen Körpers von W. Braunbek (30 S.);

Kritische Arbeiten zur elektrostatischen Theorie der starken Elektrolyte von W. Orthmann (46 S.);

Über die Eigenschaften der freien Wasserstoffatome von K. F. Bonhoeffer (30 S.);

Die Entwicklung der Photometrie in diesem Jahrhundert von E. Brodhun (48 S.);

Das photogrammetrische Meßverfahren. Photogrammetrie II. Teil von P. Seliger (55 S.);

Das Rhenium von I. und W. Noddack (41 S.).

Ein Namensverzeichnis und ein Sachverzeichnis für die bisher erschienenen sechs Bände der Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften beschließt das Buch. *W. Keil.*

P. Seliger, Das photogrammetrische Meßverfahren. — Photogrammetrie II. Teil. Beitrag aus Bd. 6 der Ergebnisse der Naturwissenschaften. (S. die vorstehende allgemeine Besprechung des Buches.)

Nachdem der Verfasser in dem fünften Bande der Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften[1]) einen Überblick über die Verfahren und Instrumente der Photogrammetrie gegeben hat, bietet er jetzt eine wertvolle Übersicht über die verschiedenen Anwendungsmöglichkeiten der Photogrammetrie, wobei er auf zahlreiche ausgeführte Messungen und deren Ergebnisse hinweist. In den vier Kapiteln, in die der Stoff eingeteilt ist, werden „Messungen an feststehenden Körpern, Messungen an beweglichen Körpern, Medizin und Anatomie sowie Schule und Unterricht" besprochen. In dem Kapitel über die Messungen an feststehenden Körpern behandelt der Verfasser die Anwendung der Photographie für die Zwecke der Topographie, des Katasters, des Ingenieurs, der Architektur und der Kriminalistik. In dem Kapitel, das sich mit Messungen an beweglichen Körpern beschäftigt, kommen insbesondere die Verwendung der Photogrammetrie zur Aufnahme von Meereswellen, in der Meteorologie und Ballistik zur Darstellung. In diesem Kapitel sowie in dem der Medizin und Anatomie gewidmeten werden auch die in Frage kommenden Instrumente angeführt. Zu bemerken ist noch, daß dieser fleißige Beitrag mit 28 guten Abbildungen ausgestattet ist; er wird sicher von vielen mit Vorteil gelesen. *P. W.*

[1]) Vgl. *diese Zeitschr.* ***47.*** *S. 560. 1927.*

G. Förster, Geodäsie. 122 S. mit 33 Fig. Walter de Gruyter & Co. Berlin und Leipzig 1927. 1,50 RM.

Das in der Sammlung Göschen erschienene Bändchen mit dem Untertitel Landesvermessung und Erdmessung hat mit dem im Jahre 1902 von C. Reinhertz verfaßten, 1920 vom Verfasser neu bearbeiteten Bändchen nur noch den Titel gemeinsam; es stellt also eine vollständig neue Arbeit vor.

Der Verfasser teilt die Geodäsie ein in „niedere Geodäsie (auch Feldmessung und Landmessung genannt), Landesvermessung und höhere Geodäsie (oder Erdmessung)" und behandelt von diesen drei Teilen die beiden letzten. Daß bei dem geringen zur Verfügung gestellten Raum manches nur angedeutet werden konnte, ist selbstverständlich; unter Weglassung alles Unnötigen, insbesondere der zur niederen Geodäsie gehörenden Teile, ist es dem Verfasser gelungen, das Wichtigste über die Landesvermessung und die Erdmessung in einer Weise zur Darstellung zu bringen, wie es zur ersten Einführung genügt. Die in Frage kommenden Instrumente sind dem Umfang des Ganzen entsprechend behandelt.

Allen denen, die einen Überblick über die verschiedenen Aufgaben der Landesvermessung, und der Erdmessung gewinnen wollen, kann das Bändchen bestens empfohlen werden. *P. W.*

F. Auerbach und **W. Hort,** Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik. Bd. V, 2. Lief. 8°. VI, 246 S. mit 101 Abb. u. 1 Taf. RM. 19,20; Bd. VII, 1. Lief. 8°. IV, 238 S. mit 125 Abb. RM. 22,—; Bd. II, 1. Lief. 8°. VIII, 404 S. mit 187 Abb. RM. 37,50. Leipzig 1928, Joh. Ambr. Barth.

Der Inhalt des Bandes V, 2 ist technischen Problemen größter Wichtigkeit gewidmet, und zwar der Wärmeübertragung an bewegte Flüssigkeiten und Gase (von Joh. Schmekel-Greifswald) und der Theorie des Schiffes (von Fritz Horn-Berlin). Bd. VII, 1 bringt eine erschöpfende Darstellung der Kapillarität von Felix Auerbach-Jena sowie Beiträge von Herbert Freundlich-Berlin-Dahlem über Kapillarchemie und von Reinhold Fürth-Prag über Disperse Systeme und Brownsche Bewegung. Der letztgenannte Autor führt im Bd. II, 1 im Anschluß an eine Darstellung der Allgemeinen Kinetik von Max Winkelmann-Jena in die Relativitätsmechanik, die Zentralbewegung und die Himmelsmechanik ein, während F. Auerbach einen kurzen aber dankenswerten Exkurs über Planetarien bringt. Es folgen wertvolle Beiträge über Irdische Schwere von Oskar Hecker-Jena und Otto Meißer-Jena, über Freier Fall, Wurf und Schuß von Otto v. Eberhard-Essen, über Innere Ballistik von Erwin Bollé-Charlottenburg und zum Schluß eine Darstellung der physiologischen Mechanik von Curt Göcke-Dresden.

Die Überfülle des in den drei neuen Lieferungen gebotenen Stoffes verbietet leider ein Eingehen auf Einzelheiten. Angesichts der bisher geleisteten sorgfältigen und umfangreichen Arbeit muß auch die wärmste Anerkennung und Empfehlung des hier im Werden begriffenen großen Werkes banal erscheinen. *G.*

Dr.-Ing. F. Bergtold, Kurzgefaßtes Handbuch der Elektrizitätszählertechnik. 8°. VIII, 250 S. mit 327 Abb. und einem Anhang mit 42 Abb. F. Enke, Stuttgart 1927.

Der Verfasser hat sich die Aufgabe gestellt einen umfassenden, für die Zwecke der Praxis geeigneten Gesamtüberblick über das Elektrizitätszählerwesen zu geben. Er hat diese Aufgabe in recht zufriedenstellender Weise gelöst, indem er bei knapper, aber doch anschaulicher und leicht verständlicher Darstellungsweise das praktisch Wichtigste hervorzuheben weiß, ohne sich dabei eingehender mathematischer Entwicklungen zu bedienen. Dabei trägt die große Zahl guter in einfachen Strichzeichnungen gehaltener Abbildungen zum leichten Verständnis des Dargebotenen bei. Mit besonderer Ausführlichkeit wird der Abschnitt über Zählerschaltungen behandelt. Die innere und äußere Schaltung der verschiedenen Zählerarten und die zugehörigen Eichschaltungen sind hier klar herausgearbeitet, wobei auch besonders eingehend auf die Blind-, Schein- und Mischverbrauchs-Zählerschaltungen eingegangen wird. Bei jedem einzelnen Schaltungsfall wird dabei auf die Bedingungen zur Möglichkeit einer betrügerischen Entnahme von elektrischer Energie hingewiesen. Der kurze Abschnitt über Zählerschaltungen mit Wandlern dagegen hätte etwas weniger stiefmütterlich behandelt werden können. Auf die Darstellung von Spezialzähleranordnungen wie Münzzähler, Automaten, Batteriezähler, Strombegrenzer usw. wird ganz verzichtet, da eine ausführliche Behandlung einen unverhältnismäßig großen Raum beansprucht hätte, der in keinem Verhältnis zu der prak-

tischen Bedeutung dieser Zählerarten steht, und eine gedrängte Behandlung von dem Verfasser nicht für zweckdienlich gehalten wird. In einem Anhang werden eine Anzahl Ausführungsbeispiele von Elektrizitätszählern mit ihren technischen Daten in guter photographischer Darstellung wiedergegeben. Einige Druckfehler wären bei einer Neuauflage des Buches noch auszumerzen. *R. Scheld.*

Rudolf Schäfer, Rostfreie Stähle. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „*Stainless Iron and Steel*" von I. H. G. Monypenny in Sheffield. 8⁰. VIII, 342 S. mit 122 Textabb. Berlin 1928. Julius Springer. Geb. 27,— RM.

Durch das Erscheinen des vorliegenden Buches hat sich R. Schäfer ein großes Verdienst erworben, da er hierdurch eine große Lücke in der neueren Literatur über das Eisen ausgefüllt hat. Streng genommen umschließt der Begriff „rostfreier Stahl" oder „nichtrostender Stahl" nicht alle diejenigen Eigenschaften, die in diesem Werkstoff schlummern; doch sind diese Bezeichnungen für die in diesem Buche beschriebenen Werkstoffe seit Jahren allgemein üblich. Der Verf. hat es sich zur Aufgabe gemacht, die Schrift von Monypenny den deutschen Herstellern und Verbrauchern von rostfreiem Stahl zugänglich zu machen; ist doch Monypenny das große Verdienst zuzuschreiben, daß er in jahrelanger Arbeit tiefgründige Forschungen in Gemeinschaft mit Brearley angestellt hat, um unser Wissen über die rostfreien Stähle zu vertiefen und vielfältigen Nutzen aus ihnen zu ziehen. In der Metallurgie des Stahls nimmt dieser Werkstoff bereits eine hervorragende Stelle ein, werden doch schon jährlich Tausende von Tonnen hiervon für alle möglichen Zwecke erzeugt. Die deutsche Bearbeitung entspricht im Aufbau der englischen Ausgabe. Monypenny hat sich dabei in seinem Buche vor allem mit den reinen rostfreien Chromstählen befaßt, die besonders in England geschätzt werden. In Deutschland sind es dagegen mehr die bezüglichen Chromnickelstähle, denen weite Anwendungsgebiete erschlossen worden sind. Infolgedessen hat Schäfer in der vorliegenden deutschen Arbeit ausgiebig Rücksicht auf die Erfindungen und Forschungen der Firma Krupp und ihrer Mitarbeiter, insbesondere in den Personen von Strauß, Maurer und Schottky genommen, die gerade die nichtrostenden Chromnickelstähle und deren Abkömmlinge eingehend untersucht haben.

Das gesamte Buch zerfällt in 8 Kapitel; nach einem allgemein einleitenden und geschichtlichen Überblick wird zunächst der Einfluß des Chroms auf Härte und Gefüge des Stahls, dann die Herstellung, Bearbeitung und Behandlung von rostfreiem Stahl und ferner seine mechanischen und physikalischen Eigenschaften im Hinblick auf die Zusammensetzung und Behandlung besprochen. Dieses (IV.) Kapitel enthält vor allem das, was für den Physiker und den, der mit metallkundlichen Konstitutionsuntersuchungen zu tun hat, von Bedeutung ist. Hier werden außer Härtungstemperaturen, Anlaßsprödigkeit, Elastizitätsmodul, den mechanischen Eigenschaften in höheren Temperaturen, hauptsächlich der Einfluß verschiedener Legierungszusätze auf die verschiedenen physikalischen Eigenschaften der rostfreien Stähle, ferner der Einfluß der Kaltbearbeitung auf ihre mechanischen Eigenschaften und endlich die physikalischen Eigenschaften selbst wie das spezifische Gewicht, thermische Ausdehnung, Wärmeleitvermögen, elektrischer Widerstand, magnetische Eigenschaften in sehr klarer und prägnanter Form behandelt. Im V. Kapitel wird der Einfluß verschiedener Behandlung und Zusammensetzung rostfreier Stähle auf den Widerstand gegen Korrosion, und dann der Widerstand gegen verschiedene Angriffsmittel ausführlich besprochen. Das nächste Kapitel bringt die besonderen rostfreien Stähle und ihre mechanischen und physikalischen Eigenschaften, und im Schlußkapitel werden zahlreiche Anwendungen rostfreier Stähle angeführt.

Der Verf. hat sich bei diesem Buche bemüht, wissenschaftliche Erklärungen in tunlichst kurze, leichtverständliche Form zu bringen und nicht wissenschaftlichen Fragen tiefgründig nachzugehen, sondern hat vor allem Wert auf die praktische Seite gelegt, bei der immer wieder die Hauptaufgabe vor Augen geführt wird, wie man dem Rost und den Korrosionserscheinungen begegnen kann. Überall sind die für die Untersuchungen der rostfreien Stähle so sehr wichtigen Kleingefügebilder eingefügt, die den Verbraucher belehren, welchen Aufbau sein für einen besonderen Zweck ausgesuchter Stahl haben muß, um die besten Ergebnisse hinsichtlich seiner Beständigkeit gegenüber verschiedenen Angriffsmitteln und anderen Beanspruchungen zu zeigen.

Die zahlreichen in der deutschen Bearbeitung gebrachten Fußanmerkungen, sowie das am Schluß zusammengestellte Verzeichnis der vorhandenen Literatur und der wichtigsten Patente er-

leichtern in außerordentlichem Maße die Einarbeitung und die Übersicht über das noch junge, aber bereits so umfangreich gewordene Gebiet der rostfreien Stähle. Das Schäfersche Buch wird jedem, der sich mit dieser Materie eingehend befaßt, ein unentbehrlicher Begleiter sein und kann bei seiner klaren, übersichtlichen Darstellungsweise nur aufs wärmste empfohlen werden. *Alfred Schulze.*

Neue Preisliste von M. Hensoldt & Söhne in Wetzlar.

Die bestens bekannten optischen Werke von M. Hensoldt & Söhne versenden aus Anlaß ihres 75jährigen Bestehens eine neue Preisliste (Ausgabe 6)[1]) über „Präzisions-Optik für wissenschaftliche Zwecke". In der Liste sind Fernrohrobjektive, Okulare, Vorrichtungen zur Ablesung an feinen Teilungen, Fernrohre mit unveränderlichem Abstand zwischen Objektiv und Fadenkreuz und Prismen aufgeführt.

Bei den Objektiven werden 31 verschiedene Ausführungen erwähnt, mit einer wirksamen Öffnung von 18 mm bei Brennweiten zwischen 54 und 110 mm bis zur Öffnung von 85 mm bei Brennweiten von 500 bis 1000 mm.

Die Okulare sind eingeteilt in astronomische und terrestrische. Bei den astronomischen Okularen wird unterschieden zwischen solchen mit Bild vor den Linsen und solchen mit Bild zwischen den Linsen; bei den ersteren sind angeführt das aus zwei plankonvexen Linsen bestehende Ramsden-Okular mit einem scheinbaren Gesichtsfeld von etwa 35 Grad, das eine achromatische und eine bikonvexe Linse enthaltende, ebene, achromatische und reflexfreie Bilder ergebende Hensoldt-Orthoskop-Okular mit einem scheinbaren Gesichtsfeld von etwa 42 Grad, das besonders für ebenes Gesichtsfeld in Frage kommende Hensoldt-Aplanatisches-Okular mit einem scheinbaren Gesichtsfeld von etwa 42 Grad und das neue Hensoldt-Großfeld-Okular mit zwei achromatischen Linsen und einem scheinbaren Gesichtsfeld von etwa 60 Grad. Das zuletzt genannte, als Euryskop IA bezeichnete Okular wird in zehn verschiedenen Ausführungen hergestellt. Bei den astronomischen Okularen mit Bild zwischen den Linsen wird insbesondere das Huygens-Okular und das diesem ähnliche Mittenzwey-Okular aufgeführt.

Unter den terrestrischen Okularen findet man Spezial-Konstruktionen für geodätische Instrumente mit vollständig ebenen, auch am Rand des Gesichtsfeldes verzeichnungsfreien Bildern, ein orthoskopisches Okular und Hensoldt's Pancratisches Okular; das letztere ist ein orthoskopisches Okular mit veränderlicher, an einer Skala ablesbarer Vergrößerung ohne Längenänderung.

An Vorrichtungen zum Ablesen an feinen Teilungen enthält die Liste die einfache Lupe in sechs verschiedenen Ausführungen, die Doppellupe in vier Ausführungen, die Mikroskoplupe zur parallaxfreien Ablesung an Nonien in fünf Ausführungen, das von M. Hensoldt stammende Skalamikroskop in drei Normalausführungen und vier Ausführungen für kleine Reisetheodolite, das gewöhnliche Schraubenmikroskop und ein durch ein vorgelagertes Prisma für die bequeme Ablesung gebrochenes Schraubenmikroskop.

Mit Rücksicht auf die Beliebtheit, die das Fernrohr mit unveränderlichem Abstand zwischen Objektiv und Fadenkreuz und innerer Einstellinse neuerdings bei geodätischen Instrumenten gefunden hat, baut die Firma M. Hensoldt & Söhne vier solche „Fokusierfernrohre" mit 20-, 28-, 32- und 35facher Vergrößerung und einer Ablesemöglichkeit von unendlich bis 3 m.

In dem Abschnitt über Prismen werden das Dreiseitprisma in dreizehn, das Fünfseitprisma in zehn und das bildumkehrende Dachprisma in drei verschiedenen Größen angeführt.

Die Güte der Hensoldtschen Erzeugnisse ist genügend bekannt, so daß hier nicht weiter darauf einzugehen ist. *P. W.*

---

[1]) Vgl. die Besprechung der Ausgabe 5 in *dieser Zeitschr.* **32**. *S. 139. 1912* von E. Hammer.

Nachdruck verboten.

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin W. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

Zeitschrift für Instrumentenkunde.

Kuratorium:

Prof. Dr. **E. Kohlschütter** in Potsdam, Vorsitzender, Prof. Dr. **R. Straubel** in Jena,
Prof. Dr. **F. Weidert** in Berlin-Zehlendorf, geschäftsführendes Mitglied.

Schriftleitung: Oberregierungsrat Prof. Dr. **F. Göpel** in Charlottenburg-Berlin.

XLVIII. Jahrgang. **Dezember 1928.** Zwölftes Heft.

Zur Prüfung eines Photogrammeters.

Von
Prof. Dr. **H. Löschner** in Brünn.

Entgegen dem im Vermessungswesen im allgemeinen richtunggebenden Grundsatz: „Vom Großen ins Kleine zu arbeiten" müssen bei den Höhenbestimmungen in der Einfachen Erdphotogrammetrie mit vertikaler Bildebene aus den verhältnismäßig kleinen Ordinaten y die relativen Höhen h abgeleitet werden. Naturgemäß wird daher jeder Fehler in der Ordinate y einen sehr bemerkenswerten Einfluß ausüben. Dies macht sich namentlich beim Vergleich der auf photogrammetrischem Wege erhaltenen Höhen mit den Ergebnissen von Nivellements sicher und einwandfrei bemerkbar, wenn das verwendete Instrument nicht frei ist von einem Fehler in der Lage der Horizontmarkenlinie, bzw. wenn dieser Fehler bei den Höhenberechnungen nicht berücksichtigt wird. Die Untersuchung eines jeden Photogrammeters erscheint nach diesem Punkte ganz besonders wichtig und unerläßlich.

Gelegentlich einer photogrammetrischen Aufnahme habe ich nun diesen Fehler an einem Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter mit Hilfe des Plattenausmessers von G. Heyde, der die Ordinaten (gleichwie die Abszissen) mit der Noniusangabe von 0,02 mm messen läßt, mit befriedigender Schärfe bestimmen können[1]).

Im Vorliegenden werden die angewendeten Methoden beschrieben.

Zuvor seien die Punkte aufgestellt, nach welchen ein Feld-Photogrammeter richtig sein soll, bzw. berichtigt oder untersucht werden muß:

I. Die Libellenachsen müssen senkrecht zur Stehachse sein.

II. Die Bildebene muß parallel zur Stehachse sein[2]).

III. Das vom Markenrahmen gegebene Achsenkreuz soll richtig sein; und zwar soll nach scharfer Horizontalstellung des Instrumentes:

1. die Verbindungslinie der Vertikalmarken vertikal sein;
2. die Verbindungslinie der Horizontmarken horizontal (also senkrecht zur Hauptvertikalen) sein;
3. bei Nullstellung des Objektivs die durch den optischen Mittelpunkt des Objektivs und die Markenhorizontale bestimmte Ebene horizontal sein.

IV. Die Lage des Hauptpunktes (d. i. des Fußpunktes der Senkrechten vom Objektivmittelpunkt auf die Bildebene) muß bestimmt sein. Das heißt: Die vom Objektivmittelpunkt senkrecht

---

[1]) Das Hugershoff-Heydesche Photogrammeter ist eingehend beschrieben von Prof. Dr. Doležal im *Internationalen Archiv für Photogrammetrie* **3.** *S. 226 ff. 1912* und von Prof. Dr.-Ing. Hugershoff im gleichen Archiv **4.** *S. 210 ff. 1914.*

[2]) Im allgemeinen — nämlich ohne Voraussetzung vertikaler Bildebene — kann man sagen: Die Bildebene (lichtempfindliche Schichte der Platte) muß parallel sein zu den zwei Hauptebenen des Objektivs der Kamera.

zur Bildebene verlaufende Vertikalebene soll die Markenvertikale (Verbindungslinie der Vertikalmarken) enthalten, bzw. es muß die Lage der Schnittlinie dieser Vertikalebene mit der Bildebene (also die Lage der „Hauptvertikalen") in bezug auf die Markenvertikale bekannt sein.

V. Bei verschiebbarem Objektiv soll die Schlittenführung den Objektivmittelpunkt parallel zur vertikalen Stehachse verschieben.

VI. Die Visierlinie des Fernrohrs soll bei Einstellung des Horizontal- und des Vertikalkreises auf die Ablesung Null parallel sein zur mechanischen Achse der Kamera (welche vom optischen Mittelpunkt des Objektivs zum Schnittpunkt des Markenlinienkreuzes verläuft); andernfalls ist das Fadenkreuz des Fernrohrs zu berichtigen, oder es ist der Indexfehler für den Horizontalkreis und der Indexfehler für den Höhenkreis zu bestimmen[1]).

VII. Zur Untersuchung eines Photogrammeters gehört auch die genaue Bestimmung der Bildweite (bzw. Brennweite) des Objektivs. Diese Bestimmung kann bekanntlich zweckmäßig mit der Bestimmung der Lage des Hauptpunktes (zu Punkt IV) verbunden werden.

Die hier zu behandelnden Bedingungen sind in der vorstehenden Übersicht unter Punkt III angeführt; sie beziehen sich auf das durch die Vertikal- und die Horizontmarken gegebene Achsenkreuz und lauten in andern Worten:

1. Die Verbindungslinie der beiden Vertikalmarken soll parallel zur Stehachse des Instrumentes sein.

2. Wenn nicht nur eine, sondern zwei Horizontmarken vorhanden sind, so sollen sie in einer zur Stehachse senkrechten Ebene liegen. Andernfalls muß der kleine Höhenunterschied ermittelt und vorgemerkt werden.

3. Die durch die Verbindung des Achsenkreuz-Schnittpunktes mit dem optischen Mittelpunkt (bzw. dem zweiten Hauptpunkt) des Objektivs gegebene mechanische Achse der Kamera soll zur Achse der in der Aufnahmsrichtung gelegenen Kameralibelle parallel sein.

Oder mit andern Worten: Die durch die mechanische Achse und die Haupthorizontale gelegte Ebene soll zur Achse der in der Aufnahmsrichtung liegenden Kameralibelle parallel sein.

(Diese dritte Bedingung entspricht der Hauptbedingung bei Nivellierinstrumenten, wonach die Visierlinie zur Achse der Nivellierlibelle parallel sein soll.)

Bei verschiebbarem Objektiv und festen Horizontmarken gilt die Bedingung (3) natürlich für die Einstellung auf die Ablesung Null[2]). Das Hugershoff-Heydesche Photogrammeter hat aber die Horizontmarken am Ende zweier vom Objektivschlitten nach beiden Seiten bis zum Plattenrahmen geführten Arme angebracht. Verschiebt man das Objektiv, so werden somit auch die Horizontmarken automatisch im gleichen Maße verschoben.

Zu 1. Prüfung der Vertikalmarken (Lotmarken).

Die Vertikalmarken wurden bei genau einspielenden rektifizierten Libellen der Kamera auf eine in Ruhe befindliche Senkelschnur eingestellt und in vollkommener Übereinstimmung gefunden (Abb. 1). (Eine Lichtbildaufnahme ist für diese Unter-

---

[1]) Man bezeichnet als optische Achse der Kamera die Verbindungslinie der Krümmungsmittelpunkte aller im zentrierten Linsensystem des Objektivs vorkommenden Linsenflächen.

Die Richtung vom Objektivmittelpunkt senkrecht zur Bildebene (d. i. die Richtung der Bildweite oder Bilddistanz) sei als Aufnahmsrichtung oder Aufnahmsachse festgelegt.

Als mechanische Achse der Kamera bezeichne ich die Verbindungslinie des Objektivmittelpunktes mit dem Kreuzungspunkt von Markenvertikale und Markenhorizont.

Diese drei Achsen sollen bei Normalstellung des Objektivs in einer Geraden zusammenfallen.

[2]) Bei der üblichen Millimeterteilung am Verschiebeschlitten kann man mittels Nonius 0,1 mm direkt ablesen und 0,02 mm noch recht gut schätzen.

suchung natürlich nicht notwendig.) Um die Senkelschnur deutlich zu sehen, wurde eine 5 mm starke schwarze Pelzschnur verwendet, an die unten ein schwerer Senkel festgebunden war. Die Schnur muß die ganze Plattenhöhe durchlaufen, daher dementsprechend lang sein. Meine Schnur war 8 m lang; dies genügte für die geringe Einstelldistanz von 8 m. Sie war oben auf einer horizontalen Stange befestigt, die von einem Fenster aus schräg zur einspringenden Ecke eines Gebäudes auf Gesimsen

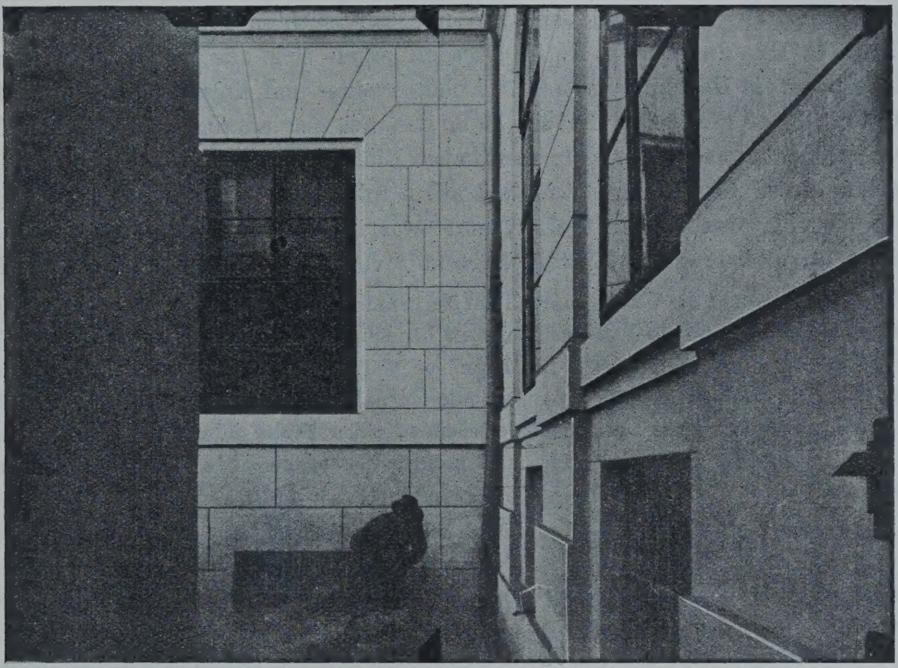


Abb. 1.

gelagert worden war. Das Senkelgewicht war in ein Gefäß mit Wasser eingetaucht, um die Schwingungen zu dämpfen[1]).

Zu 2. Prüfung der Horizontmarken.

Liegen die Vertikalmarken[2]) bei horizontal gestelltem Instrumente (gemäß Punkt 1) genau in einer Vertikalen, so ist die durch die beiden Horizontmarken gegebene Haupthorizontale bei einspielenden Kameralibellen horizontal, wenn Hauptvertikale und Haupthorizontale aufeinander senkrecht stehen.

Ob Hauptvertikale und Haupthorizontale des photogrammetrischen Instrumentes sich unter einem rechten Winkel kreuzen, ergibt sich aus der Prüfung des Achsenkreuzes einer in diesem Photogrammeter exponierten Platte auf einem Heydeschen Plattenausmesser, wobei die Platte — nach ihrem Einlegen — durch Drehen mit der rechtsseitig befindlichen Einstellschraube des Plattenausmessers so eingestellt wird, daß der Schnittpunkt des Mikroskop-Fadenkreuzes beim Bewegen desselben nach der Y-Achse die beiden Vertikalmarken durchläuft. Beim darauffolgenden Einstellen des

[1]) Es ist wichtig nicht nur vor einer jeden Untersuchung des Achsenkreuzes, sondern überhaupt vor einer jeden Benutzung des Photogrammeters die Libellen auf ihre Richtigkeit zu untersuchen: Für jede der beiden Kreuzlibellen muß die Bedingung scharf erfüllt sein, daß ihre Achse die Stehachse des Instrumentes senkrecht kreuzt.

[2]) Die kurze Bezeichnung „Lotmarken" scheint mir ebenso gut verwendbar.

Mikroskop-Fadenkreuzes auf die linksseitige Horizontmarke und Bewegen desselben bis zur rechtsseitigen Horizontmarke ergibt sich eine etwaige Abweichung der Verbindungslinie dieser beiden Horizontmarken von der Senkrechten zur Hauptvertikalen. (Die genau rechtwinklige Kreuzung der Führungen am Plattenausmesser kann bei dem heutigen Stande der Feinmechanik wohl vorausgesetzt werden.) Die lineare Abweichung der rechtsseitigen Horizontmarke (oder der Höhenunterschied zwischen rechts- und linksseitiger Horizontmarke) wird an der Y-Teilung des Plattenausmessers bis auf 0,02 mm direkt abgelesen. Bei dem von mir untersuchten Photogrammeter Nr. 7772 der Firma G. Heyde G. m. b. H. in Dresden ergab sich aus mehrfach wiederholten Beobachtungen ein Höhenunterschied zwischen rechts- und linksseitiger Horizontmarke von **0,160** $\pm$ 0,013 mm. Daß ist ein Maß, das bei der photogrammetrischen Ermittlung von Höhenunterschieden sehr merklichen Einfluß hat. Die photographische Platte wurde bei dieser Ermittlung sowie bei allen folgenden Ausmessungen mit Schichte oben in den Plattenausmesser gelegt, und zwar in um 180^0 gedrehter Lage, so daß die Bilder im umkehrenden Einstell-Mikroskop vorteilhafterweise aufrecht erschienen.

Die Horizont- und die Vertikalmarken am Markenrahmen können beim Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter mittels Justierschräubchen berichtigt werden (vgl. Hugershoff im *Internat. Archiv f. Photogrammetrie* **4.** *S. 216*). Der Ingenieur und der Forschungsreisende werden sich aber zur Benützung dieser Justierschräubchen stets nur bei unbedingter Notwendigkeit entschließen. Es wird ihnen insbesondere nicht zweckmäßig erscheinen, einen Fehler in der gegenseitigen Lage der beiden Horizontmarken mit vieler Mühe und großem Zeitaufwand bis auf den letzten Rest wegzubringen. —

Zur Prüfung, ob die Verbindungslinie der beiden seitlichen Rahmenmarken horizontal ist wurde bisher in der Literatur zumeist empfohlen, die linksseitige Horizontmarke auf ein festes Ziel einzustellen und dann nach entsprechendem Drehen der Kamera nachzusehen, ob die rechtsseitige Horizontmarke das gleiche feste Ziel durchwandert (vgl. Doležals Handbuch **2.** *S. 467. 1921;* Eggert, Einführung *S. 320. 1907;* Dokuli im *Internat. Archiv f. Photogrammetrie* **2.** *S. 99. 1911*). Das ist die Untersuchungsmethode, wie wir sie beim Querfaden eines Nivellierinstrumentes durchführen. Während aber bei feineren Nivellierinstrumenten durch die Elevationsschraube das Feineinstellen auf den festen Punkt ermöglicht ist, ist dies bei einem Photogrammeter nur dann der Fall, wenn feste Horizontmarken und ein fein verschiebbares Objektiv vorhanden sind. Hingegen ist das Feineinstellen der Horizontmarke auf ein festes Ziel nicht möglich beim Hugershoff-Heydeschen Photogrammeter, wo beim Verschieben des Objektivs sich in gleichem Maße (automatisch) die Horizontmarken und das Bild des Zieles auf der Mattscheibe verschieben, so daß also nicht das Bild des Zieles auf die Horizontmarke eingestellt werden kann. Man kann allerdings ein feines Kippen der Kamera durch eine der Stellschrauben am Dreifuß bewerkstelligen. Da aber hierdurch die Fein-Horizontierung des Instrumentes auch in der Richtung der Horizontmarken verloren gehen kann, verliert man bei diesem Verfahren das Gefühl der Exaktheit. Es verbleibt also das Einwinken eines Zielpunktes (z. B. einer Zielscheibe) in den Horizont des Instrumentes (wie es Klingatsch auf 200 m Entfernung ausgeführt hat), was aber wieder recht mühselig und zeitraubend erscheint.

Es wird daher wohl das eingangs zu Punkt 2 geschilderte einfache Untersuchungsverfahren für Photogrammeter im allgemeinen viel leichter mit der gewünschten und erforderlichen Exaktheit ausführbar sein.

Der Grundgedanke dieses Verfahrens ist wohl schon von Hugershoff in seiner Schrift (Dresden 1912) angegeben; ich habe aber den Gedanken, einen exakt arbeitenden Plattenausmesser zu dieser Untersuchung heranzuziehen, nirgends auch nur angedeutet gefunden, und doch wird das Verfahren erst durch Verwendung eines guten Plattenausmessers oder Stereokomparators befriedigend scharf und exakt ausführbar. Freilich hat es im Jahre 1912 den von mir verwendeten Heydeschen Plattenausmesser noch nicht gegeben, denn Prof. Hugershoff beschreibt im *Intern.*

Archiv f. Photogrammetrie **4.** *S. 216. 1914* erst das Hugershoff-Heydesche „Photomikrometer", das wohl als Vorläufer des vortrefflichen Heydeschen Plattenausmessers anzusehen ist[1]). Hugershoff schreibt a. a. O.: „Um festzustellen, ob die Verbindungslinie der Horizontmarken bei einspielenden Libellen auch horizontal ist, genügt es, ein passend aufgehängtes Lot zu photographieren, dessen Bild natürlich genau senkrecht auf *hh* stehen muß." (Es war offenbar an die Prüfung der senkrechten Lage auf konstruktivem Wege gedacht.)

Zu 3. Prüfung, ob die durch die mechanische Achse und die Markenhorizontale gelegte Ebene zur Achse der in der Aufnahmerichtung gelegenen Libelle parallel ist.

Dieser Punkt wurde nach den folgenden drei neuartigen Methoden untersucht, wovon allerdings nur die ersten zwei Methoden praktisch zu empfehlen sind.

1. Methode.

Mit photographischer Aufnahme einer vertikalgestellten Nivellierlatte und Einstellung des Plattenausmesser-Mikroskops auf die dem Horizont entsprechende Lattenablesung.

Es werden zwei Punkte $P_1 P_2$ (Abb. 2) gewählt in einer Entfernung, die bei der photographischen Aufnahme einer Nivellierlatte die Teilung derselben noch gut erkennen läßt, die aber auch nicht zu klein sein darf, damit der zu untersuchende Fehler möglichst hervortrete. Das Gefälle (g) zwischen diesen zwei Punkten P_1 und P_2 wird durch Nivellement aus der Mitte bestimmt. Der Photogrammeter wird dann mit dem Objektiv über P_1 aufgestellt und horizontiert. Eine scharf geteilte Nivellierlatte wird in P_2 vertikal aufgestellt und von P_1 aus photographiert. Hernach wird die Instrumentenhöhe (i) gemessen.

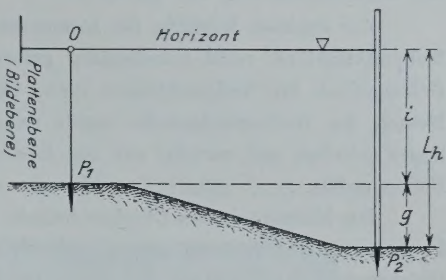


Abb. 2.

Die im Instrumentenhorizont gelegene Lattenlesung L_h ergibt sich mit

$$L_h = i + g. \qquad 1)$$

Die entwickelte photographische Platte wird in den Heydeschen Plattenausmesser gelegt, und zwar mit der Schichte oben und um 180° gedreht, so daß die Bilder aufrecht erscheinen. Die Vertikalmarken der Platte werden in die Richtung der Y-Achse des Plattenausmessers eingestellt (indem die Platte mit Hilfe der rechts befindlichen, parallel zur Y-Achse gerichteten Feinstellschraube um den links in der Horizontlinie befindlichen Drehpunkt des Plattenrahmens fein gedreht wird[2]).

Hernach wird das Strichkreuz im Mikroskop des Plattenausmessers über das Lattenbild gebracht und auf die gerechnete Lattenlesung L_h eingestellt, worauf die zugehörige Stellung des Mikroskops an der y-Teilung des Kreuzschlittens abgelesen wird. Endlich wird das Mikroskop-Strichkreuz des Plattenausmessers auf die zu untersuchende Horizontmarke der photographischen Platte eingestellt und auch diese Mikroskopstellung an der y-Teilung des Kreuzschlittens abgelesen. Bei vollkommen richtiger

[1]) Einer der ersten exakten Plattenausmesser mit Kreuzschlitten war neben dem Pulfrichschen Stereokomparator (*Diese Zeitschr.* **22.** *S. 76. 1901*) der „Photokoordinatometer", der für die Lehrkanzel für Praktische Geometrie in Wien zum Phototheodolit des Prof. Dr. A. Schell von der Firma R. & A. Rost im Jahre 1905 hergestellt worden ist (beschrieben von Dokulil im *Internat. Archiv f. Photogrammetrie* **2.** *S. 169 ff. 1911*).

[2]) Der verwendete Plattenausmesser ist abgebildet in der „Festschrift der Deutschen Technischen Hochschule in Brünn", S. 150. 1924.

Lage der Horizontmarke muß die zur gerechneten Horizontablesung an der Latte gehörige y-Ablesung mit der zur Horizontmarke gehörigen y-Ablesung genau übereinstimmen. Eine etwaige Differenz in diesen beiden y-Ablesungen gibt den Fehler in der Lage der untersuchten Horizontmarke. (Die Untersuchung wird natürlich mehrmals wiederholt.)

Bei der Untersuchung des schon erwähnten Photogrammeters Nr. 7772 von Heyde wurden im Hofraume der Technischen Hochschule zu Brünn am 18. Februar 1927 zunächst versuchsweise zwei, in den Abständen von rd. 11 und rd. 20 m vertikal aufgestellte Nivellierlatten mit cm-Teilung photographiert. Da sich unter dem Mikroskop des Plattenausmessers die Teilung der näheren Latte in 11 m Abstand für Feinablesungen (mit Schätzen der Millimeter) besser verwertbar zeigte, wurde weiterhin für die Aufstellung der Latte nur der kürzere Abstand von 11 m genommen. Das Gefälle (g) vom Standpunkt (P_1) des Photogrammeters nach dem Standpunkt (P_2) der Latte wurde durch Hin- und Rücknivellement aus der Mitte mit $0{,}227_5$ ermittelt, die Instrumentenhöhe (i) mit 1,474. Somit war

$$(i+g)=1{,}701_5$$

die Lattenablesung im Horizont.

Zur exakten Messung der Instrumentenhöhe habe ich die Verwendung eines Stahlbandes mit Nullpunktsgelenk recht zweckmäßig gefunden. Da aber bei dem mir gelieferten Stahlband das Bolzengelenk die Nullpunktkante etwas überragte, habe ich die Handhabe abnehmen lassen. Beim Messen der Instrumentenhöhe wurde dann das Stahlband-Endglied zwischen Daumen und Zeigefinger gehalten und vertikal auf den Boden aufgesetzt, so daß die Nullpunktskante genau auf dem Boden auflag.

Der Mittelpunkt des Objektivdeckels, wo die Instrumentenhöhe abgelesen wird, ist bei Heydes Photogrammeter dadurch gekennzeichnet, daß dort das Sicherheitsschnürchen befestigt ist, das den Objektivdeckel bei seinem Abnehmen am Instrumente festhält.

Auf die gerechnete, dem richtigen Horizont (Instrumentenhorizont) entsprechende Lattenablesung $1{,}701_5$ habe ich im Mikroskop des Heydeschen Plattenausmessers dreimal unabhängig eingestellt und danach an der y-Teilung nachfolgende drei Ablesungen erhalten:

$$\left.\begin{matrix}45{,}27\\45{,}25\\45{,}25\end{matrix}\right\}\text{ also im Mittel } 45{,}257.$$

Die dreimalige Einstellung auf die linke Horizontmarke (d. i. jene Marke, die beim Ansehen des Markenrahmens links erscheint) ergab an der y-Teilung die Ablesungen:

$$\left.\begin{matrix}45{,}68\\45{,}65\\45{,}64\end{matrix}\right\}\text{ also im Mittel } 45{,}657.$$

Die Differenz aus der Ablesung für die Horizontmarke (45,657) und jener für den richtigen Horizont (45,257) ergibt

$$45{,}657-45{,}257=0{,}40 \text{ mm}$$

als Fehler der linken Horizontmarke am Rahmen, und zwar sind alle y-Ablesungen um 0,40 mm zu vermindern, um die richtigen, für die Höhenermittlungen maßgebenden, y-Ablesungen zu erhalten.

Unabhängig von dieser ersten Berechnung wurde der Fehler η der linken Horizontmarke noch zweimal nach dieser ersten Methode ermittelt, wobei eine zweite photographische Aufnahme zugrunde gelegt worden ist. Es ergaben sich danach die

zwei Werte 0,410 und 0,403 mm, die mit dem ersten Werte 0,400 mm vereinigt das arithmetische Mittel 0,404 mm mit dem mittleren Fehler $\pm$ 0,003 liefern. Wir verzeichnen also als Ergebnis der ersten Methode:

$$\eta = 0{,}404 \pm 0{,}003 \text{ mm}. \qquad \text{a)}$$

2. Methode.

Mit photographischer Aufnahme einer vertikal gestellten Nivellierlatte und Einstellung des Plattenausmesser-Mikroskops auf den Fußpunkt der Latte.

Es wird wieder das richtige Gefälle (g) zwischen zwei Punkten P_1 und P_2 (Abb. 3) durch Nivellement aus der Mitte ermittelt, sodann der Photogrammeter mit der Objektivblende über Punkt P_1 meßgerecht aufgestellt und die Aufnahme einer in P_2 vertikal aufgestellten Nivellierlatte gemacht, wobei es zweckmäßig erscheint, die Aufnahmsachse in die Richtung der Nivellierlatte zu bringen.

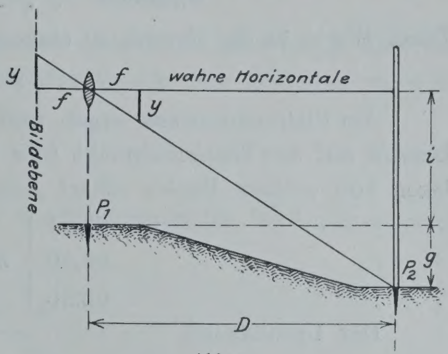


Abb. 3.

Aus Abb. 3 liest man:

$$y = \frac{f(i+g)}{D}. \qquad 2)$$

In dieser Formel bedeutet D die Horizontaldistanz der Nivellierlatte vom Objektiv

Abb. 4.

des Photogrammeters. Im Zähler steht f, aber nur dann, wenn die Aufnahmsachse nach der Nivellierlatte gerichtet ist. Liegt die Nivellierlatte hingegen außerhalb der Aufnahmsachse — (auf dem Photogramm um die Abszisse x links oder rechts vom

Hauptpunkt entfernt) — so kommt an Stelle von f der Ausdruck $\sqrt{f^2 + x^2}$ in die Gleichung 2).

Für unsere Messung (Abb. 4) am 18. Februar 1927 war

$$D = 11{,}72 \text{ m}.$$

Instrumentenhöhe . . . . . . $i = 1{,}474$ m,
Gefälle . . . . $g = 0{,}227$ m,
Bildweite . . . . $f = 120{,}4$ mm.

Diese Werte in die Formel 2) eingesetzt, gibt:

$$y = 17{,}472 \text{ mm}.$$

Am Plattenausmesser ergab nun die dreimalige Einstellung des Mikroskop-Strichkreuzes auf den Lattenfußpunkt (der bei der photographischen Aufnahme durch Unterlegen von weißem Papier scharf gekennzeichnet worden war) die Ablesungen:

$$\left.\begin{matrix} 63{,}51 \\ 63{,}50 \\ 63{,}50 \end{matrix}\right\} \text{ also im Mittel } 63{,}503.$$

Der Unterschied

$$63{,}503 - 17{,}472 = 46{,}031 \text{ mm}$$

ergibt die Ablesung an der y-Teilung des Plattenausmessers, die der richtigen Horizontmarke (dem richtigen Instrumentenhorizont) entspricht.

Die dreimalige Einstellung des Mikroskop-Strichkreuzes auf die linke Horizontmarke hatte hingegen an der y-Teilung nachfolgende Ablesungen ergeben:

$$\left.\begin{matrix} 46{,}41 \\ 46{,}42 \\ 46{,}44 \end{matrix}\right\} \text{ also im Mittel } 46{,}423.$$

Der Unterschied zwischen der Ablesung für die linke Horizontmarke (46,423) und der gerechneten Ablesung für den richtigen Horizont (46,031) liefert mit

$$\eta = 46{,}423 - 46{,}031 = 0{,}392 \text{ mm}$$

den Fehler der Horizontmarke am Rahmen, und zwar sind in guter Übereinstimmung mit dem Ergebnis (a) alle y-Ablesungen um 0,39 mm zu vermindern, um die richtigen y-Ablesungen zu erhalten.

Dieser Fehler η der linken Horizontmarke wurde — unabhängig von dieser ersten Berechnung — nach der zweiten Methode noch zweimal ermittelt, wobei auch eine zweite photographische Aufnahme zugrunde gelegt worden ist. Es ergaben sich die zwei Werte 0,412 und 0,409 mm, die mit dem ersten Werte 0,392 vereinigt das arithmetische Mittel 0,404 mm mit dem mittleren Fehler $\pm$ 0,006 liefern.

Das Ergebnis der zweiten Methode ist also

$$\eta = 0{,}404 \pm 0{,}006 \text{ mm}. \qquad \text{b)}$$

Zu dieser zweiten Methode wird noch folgendes bemerkt:

Wenn die Brennweite f des Photogrammeter-Objektivs nicht genügend genau gegeben ist, dann verdient die erste Methode den Vorzug vor der zweiten, weil wir bei der ersten Methode die Objektiv-Brennweite nicht brauchen.

Aus Gl. 2) folgt, daß eine Unsicherheit oder ein Fehler Δf in der Brennweite die Unsicherheit oder den Fehler Δy hervorruft von der Größe:

$$\Delta y = \frac{(i+g)}{D} \cdot \Delta f. \qquad 3)$$

Für unsere Messung am 18. Februar 1927 mit $i = 1{,}474$; $g = 0{,}227$ und $D = 11{,}72$ m erhält man:

$$\varDelta y = 0{,}145\, \varDelta f,$$

und nimmt man beispielsweise

$$\varDelta f = 0{,}2 \text{ mm}, \quad \text{so wird} \quad \varDelta y = 0{,}029 \text{ mm}.$$

Und ist

$$\varDelta f = 0{,}5 \text{ mm}, \quad \text{so wird} \quad \varDelta y = 0{,}072 \text{ mm}.$$

Diese Unsicherheit $\varDelta y$ beeinflußt in fortgesetzt gleichbleibender Größe die Berechnung des Fehlers η für die Höhenlage der Horizontmarke am Rahmen, so daß der Höhenfehler η mit der gleichen Unsicherheit

$$\varDelta \eta = \varDelta y \qquad 4)$$

erhalten wird.

Wichtig ist nun, daß durch geeignete Wahl des Standortes für die Untersuchung der Einfluß eines Fehlers in der Brennweite stark herabgedrückt werden kann. Man wählt zu diesem Zwecke die abzunivellierende Versuchsstrecke auf entsprechend stark ansteigendem Gelände und nimmt die Lichtbildaufnahme in der Richtung der Steigung derart vor, daß die Fußkante der Nivellierlatte nahe im Instrumenten-Horizont liegt, daß also die Instrumentenhöhe i nahe gleich ist der Steigung g (Abb. 5). Dann ist nämlich in Gl. 3) der Zähler $(i + g)$ klein, allenfalls nahe gleich Null, und ein etwaiger Fehler $(\varDelta f)$ in der Brennweite hat einen verschwindend kleinen Einfluß auf die Bestimmung der wahren Höhenlage der vom Mechaniker gesetzten Horizontmarke am Rahmen.

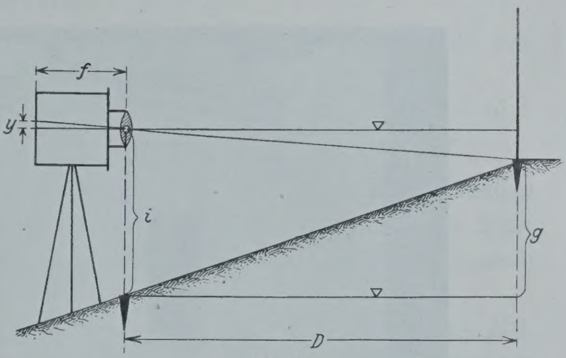


Abb. 5.

3. Methode.

Mit Benützung des Fluchtpunktes zweier gleichgerichteter Horizontalen.

In Abb. 6 stelle das Trapez 1—2—3—4 das auf einer Photographie festgehaltene perspektivische Bild einer vertikalen Wand mit den horizontalen Begrenzungslinien 1—2 und 3—4 dar. Diese Horizontalen 1—2 und 3—4 sollen dabei zweckmäßig möglichst weit oberhalb und unterhalb vom Horizont abstehen. Durch den Schnittpunkt der Horizontalen 1—2 und 3—4, also den Fluchtpunkt F, ist ein Punkt des richtigen Instrumenten-Horizontes gegeben, und es bleibt zu prüfen, ob die Marke H am Kamerarahmen in diesem wahren Instrumenten-Horizont liegt.

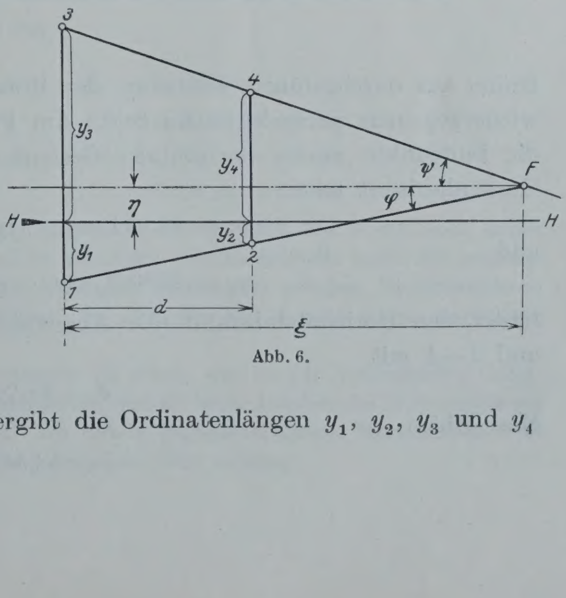


Abb. 6.

Die Ausmessung des Photogramms ergibt die Ordinatenlängen y_1, y_2, y_3 und y_4 in bezug auf den Markenhorizont $H — H$.

Nun ist

$$(y_1 + \eta) = \xi \operatorname{tg} \varphi$$

und

$$(y_3 - \eta) = \xi \operatorname{tg} \psi$$

also

$$(y_1 + y_3) = \xi (\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \psi),$$

hieraus

$$\xi = \frac{(y_1 + y_3)}{(\operatorname{tg} \varphi + \operatorname{tg} \psi)}.$$

Schließlich folgt

$$\left.\begin{array}{l} \eta = \xi \operatorname{tg} \varphi - y_1 \\ \eta = y_3 - \xi \operatorname{tg} \psi \end{array}\right\}. \qquad 5)$$

und

Anwendung der 3. Methode:

Eine am 18. Februar 1927 mit dem wiederholt erwähnten Heydeschen Photogrammeter Nr. 7772 vom zweiten Stockwerk der Deutschen Technischen Hochschule in

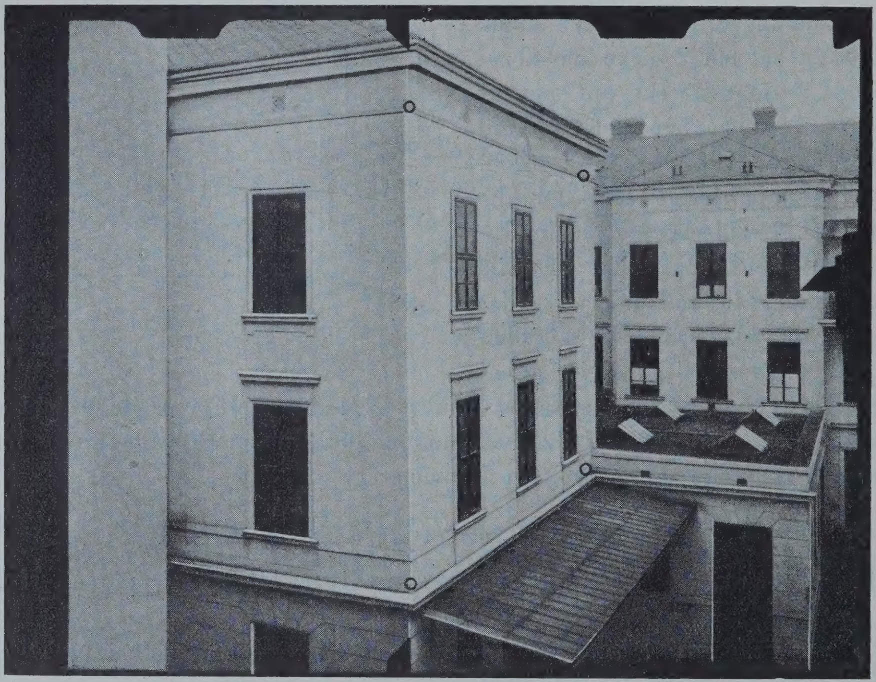


Abb. 7.

Brünn aus durchgeführte Aufnahme der Hofseite dieses Gebäudes ergab das in Abb. 7 wiedergegebene perspektivische Bild. Am Plattenausmesser von Heyde fand ich für die Endpunkte zweier horizontaler Gesimskanten 1—2 und 3—4 die Abstände vom Markenhorizont mit

$$y_1 = 37{,}871 \text{ mm}; \quad y_2 = 22{,}980 \text{ mm}$$

und

$$y_3 = 23{,}867_5 \text{ mm}; \quad y_4 = 14{,}805 \text{ mm},$$

ferner den Horizontalabstand (die Abszissendifferenz) zwischen den Vertikalen 1—3 und 2—4 mit

$$d = 22{,}72 \text{ mm}.$$

Man erhält

$$\xi = 58{,}560 \text{ mm},$$

und nach den zwei Formeln 5) in vollkommener innerer Übereinstimmung den von den Ergebnissen der 1. und 2. Methode allerdings merklich abweichenden Wert

$$\eta = 0{,}51 \text{ mm}. \qquad *)$$

Für zwei andere horizontale Gesimskanten $1'—2'$ und $3'—4'$ waren die Abstände der Zielpunkte vom Markenhorizonte:

$$y_1' = 24{,}28; \quad y_2' = 16{,}37;$$
$$y_3' = 35{,}04; \quad y_4' = 23{,}38_5,$$

und der Horizontalabstand (die Abszissendifferenz) zwischen den Vertikalen $1'—3'$ und $2'—4'$:

$$d = 19{,}32 \text{ mm}.$$

Danach findet man:

$$\xi = 58{,}577 \text{ mm}$$

und

$$\eta = 0{,}297 \text{ mm}. \qquad **)$$

Das Mittel aus den Werten *) und **) gibt in guter Übereinstimmung mit den Werten a) und b):

$$\eta = 0{,}403, \qquad c)$$

jedoch mit dem verhältnismäßig großen mittleren Fehler $\pm$ 0,106 mm.

Auch dieser Wert c) zeigt ebenso wie die Werte a) und b) an, daß der richtige (durch F laufende) Horizont gegenüber dem Markenhorizont $H—H$ (der durch die linke Marke bestimmt ist) etwas höher liegt, und zwar derart, daß alle positiven Ordinaten y um **$\eta = 0{,}40$ mm** zu verkürzen sind.

Will man bei der Ausmessung nicht die linksseitige, sondern die rechtsseitige Horizontmarke benützen, so ist zu berücksichtigen, daß bei unserem Instrumente eine Höhendifferenz von 0,16 mm besteht, derart, daß die positiven Ordinaten y um $0{,}40 - 0{,}16 = 0{,}24$ mm zu verkürzen sind[1]).

Der Fehler $\eta = 0{,}40$ mm kann schon recht fühlbaren Einfluß haben, denn bei Berechnung der relativen Höhen von Punkten in der Aufnahmsrichtung nach der Formel:

$$h = \frac{E \cdot y}{f}$$

(worin E die Entfernung des Punktes bedeutet) wird der Fehlereinfluß:

$$\Delta h = \frac{E}{f} \cdot \Delta y.$$

Das liefert für unser Instrument mit

$$f = \text{rd. } 120 \text{ mm} \quad \text{und} \quad \Delta y = 0{,}4 \text{ mm}$$

bei $E = 10$ m . . . . $\Delta h = 0{,}03$ m = 3 cm,
bei $E = 100$ m . . . . $\Delta h = 0{,}33$ m = 33 cm,
bei $E = 200$ m . . . . $\Delta h = 0{,}66$ m = 66 cm.

Der im vorstehenden besprochene Berichtigungspunkt: ob die durch die mechanische Achse und die Markenhorizontale gelegte Ebene parallel ist zur Achse der Seitenlibelle (oder mit anderen Worten: ob die Horizontmarken in der durch den optischen Mittelpunkt gelegten Horizontalebene liegen), ist in der bisherigen Literatur durch Messen des Höhenwinkels β nach einem markanten

---

[1]) In der Abb. 7 ist rechts die Horizontmarke zu sehen, die in der vorliegenden Untersuchung als die linksseitige Horizontmarke bezeichnet ist, weil sie beim Ansehen des Markenrahmens am Photogrammeter tatsächlich links erscheint. Die zweite gegenüberliegende Horizontmarke ist im vorliegenden Bilde (Abb. 7) infolge eines Fensterrahmens nicht sichtbar.

Punkte, der auf der Platte gut abgebildet wird, erledigt worden. Der aus den zugehörigen Bildkoordinaten berechnete Höhenwinkel β' soll mit dem beobachteten Höhenwinkel β übereinstimmen (vgl. Steiner, 1893, S. 116; Klingatsch in Zeitschr. f. Vermessungswesen 1906, S. 914; Hugershoff, *S. 41, 1912*; Lüscher, *S. 64, 1920*). (Hierbei ist bei kleineren Entfernungen auf die Einhaltung möglichst gleicher Instrumentenhöhe beim Instrument zum Messen der Höhenwinkel und beim Photogrammeter zu sehen.)

Die von mir vorgeführten Methoden 1) und 2) führen wohl einfacher, rascher und exakter zum Ziele.

Zusammenfassung.

1. Prüfung der durch die Lotmarken gegebenen Hauptvertikalen.

2. Prüfung der durch die beiden Horizontmarken bestimmten Horizontlinie, indem auf einem Plattenausmesser untersucht wird, ob diese Horizontlinie genau senkrecht steht zur Lotmarkenlinie.

3. Prüfung, ob die mechanische Achse des Photogrammeters gleichgerichtet (parallel) ist zur Achse der Seitenlibelle.

Für die Untersuchung zu Punkt 3 werden drei Methoden angegeben, wovon die beiden ersten den Vorzug vor der dritten Methode verdienen.

Die erste Methode ist besonders einfach und exakt. Bei der zweiten Methode ist die Kenntnis der Bildweite (Brennweite) f erforderlich; man erhält eine gute Kontrolle für das Ergebnis der ersten Methode.

Um bei dieser zweiten Methode einen etwaigen Fehler der Brennweite möglichst unschädlich zu machen, empfiehlt es sich, als Versuchsstrecke ein ansteigendes Gelände zu wählen und den Fußpunkt der Nivellierlatte ungefähr im Horizont des Instruments aufsetzen zu lassen.

Das dritte Verfahren verdient wohl theoretisches Interesse, ist aber praktisch von viel geringerer Bedeutung, weil in exakter Weise kaum anwendbar. Denn wir werden für die grundlegende photographische Aufnahme zur Ermittlung eines Fluchtpunktes kaum ein Bauwerk finden, an dem der durchgehend vollkommen horizontale Verlauf zweier langer Kanten von möglichst verschiedener Höhe verbürgt werden kann. Dies läßt ja auch das in der vorliegenden Arbeit mitgeteilte Ergebnis der Untersuchung erkennen, die auf zwei verschiedenen Punktepaaren zweier horizontaler Kanten aufgebaut wurde.

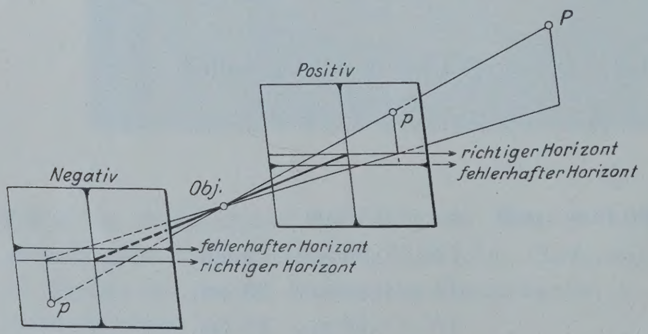


Abb. 8.

Für das untersuchte Photogrammeter hat sich ergeben, daß die linke Horizontmarke am Rahmen um 0,40 mm zu hoch liegt. Dementsprechend liegt die im Positivbild rechts erscheinende Horizontmarke um das gleiche Maß zu tief. Das heißt: Alle positiven Ordinatenlängen y sind um 0,40 mm zu kürzen, um sie auf das vom richtigen Horizont gezählte Maß zu bringen (Abb. 8).

Schließlich wird bemerkt, daß allen Untersuchungen die Prüfung und notwendigenfalls die Berichtigung der am Photogrammeter befindlichen Libellen vorhergegangen ist. Auch wurde mit besonderer Sorgfalt darauf gesehen, daß diese Libellen während der Untersuchung scharf eingespielt haben.

Literatur zur Prüfung photogrammetrischer Feldinstrumente.

Koppe, Prof. Dr. K.: Die Photogrammetrie oder Bildmeßkunst, Weimar 1889, S. 33f.

Schell, Prof. Dr. A. in *Eders Jahrbuch der Photographie, 1. Teil, 2. Hälfte, 1892, S. 636 ff.*

Steiner, Prof., Dipl.-Ing., F.: Die Photographie im Dienste des Ingenieurs, Wien 1893, S. 114ff.

Doležal, Prof. Dr. E.: Die Anwendung der Photographie in der praktischen Meßkunst, Halle a. d. S. 1896, S. 52ff.

Klingatsch, Prof., Dipl.-Ing., A., in *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1899, S. 345 ff.*

Finsterwalder, Prof. Dr. S., in Neumayers Anleitung zu wissenschaftlichen Beobachtungen auf Reisen **1**. Hannover 1906, S. 170ff.

Klingatsch, Prof., Dipl.-Ing., A., in *Zeitschr. f. Vermessungsw. 1906, S. 914 ff.*

Eggert, Prof. Dr. O.: Einführung in die Geodäsie, Leipzig 1907, S. 320f.

Dokulil, Prof. Dr. Th. im *Intern. Archiv f. Photogrammetrie* **2**. *S. 96 ff., 1911.*

Dokulil, Prof. Dr. Th.: Anleitung für die Herstellung und Justierung geodätischer Instrumente, Teil 2, Nikolassee 1911, S. 210ff.

Hugershoff, Prof. Dr. Ing.: Das Photogrammeter Heydescher Konstruktion, Dresden 1912, S. 39ff.

Hugershoff, Prof. Dr. Ing., im *Intern. Archiv für Photogrammetrie* **4**. *S. 216 f., 1914.*

Hohenner, Prof. Dr. Ing., im *Intern. Archiv f. Photogrammetrie* **5**. *S. 235 ff., 1919.*

Lüscher, Dr. Ing. H.: Photogrammetrie (Aus Natur und Geisteswelt). Leipzig 1920, S. 18 u. 63f.

Doležal, Prof. Dr. E.: Hand- und Lehrbuch der Niederen Geodäsie 2. Wien 1921, S. 466ff.

Doležal, Prof. Dr. E.: Das Phototachymeter Doležal-Rost, im *Intern. Archiv für Photogrammetrie* **6**. *S. 230 ff. 1923.*

Schneider, Dipl.-Ing. F., in „Bildmessung und Luftbildwesen", 1927, S. 100f.

Entgegnung zum Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynamischen Eigenschaften von Indikatoren" von Otto Holm.

Von

Dr. **Fr. Dubois** in Schaffhausen (Schweiz).

I. Der interessante Aufsatz von Herrn Dr. O. Holm-Hamburg unter diesem Titel in *dieser Zeitschr.* **48**. *S. 14—26. 1928* ist leider von verschiedenen mathematischen Fehlern entstellt, die einen großen Teil seiner Endresultate hinfällig machen.

1. Gl. 6) auf S. 16 unten ist unrichtig.

Aus 4) und 5)

$$\frac{\partial S}{\partial x} = -\frac{\partial^2 M}{\partial x^2} \quad \text{und} \quad M = EJ\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}$$

folgt, da J mit x stark veränderlich ist, in Wirklichkeit

$$\frac{\partial S}{\partial x} = -E\left(J\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + 2\frac{\partial J}{\partial x}\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 J}{\partial x^2}\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right) \tag{6}$$

und nicht bloß wie im Urtext

$$\frac{\partial S}{\partial x} = -E\frac{\partial^4 y}{\partial x^4}.$$

Die Vernachlässigung der Veränderlichkeit vom Trägheitsmoment J beim Differentiieren im Urtext ist um so unzulässiger, als gerade die der Stabspitze ($x = 0$) nahegelegenen Stabteile, welche den größten Ausschlag und bestimmenden Einfluß auf die Schwingungsamplitude besitzen, die größte Veränderlichkeit im J aufweisen.

Mithin sind sämtliche Gleichungen von 7) an unrichtig.

2. Die Aussage (S. 17, unten):

„Die Gl. 18)

$$\frac{d^4 X}{dx^4} - \frac{C_1 k^2}{E} x^{-\frac{2}{3}} X = 0 \tag{18}$$

[ganz abgesehen von ihrer Unvollständigkeit infolge von Fehler 1. (Verf.)]

hat vier partikuläre Lösungen von der Form:

$$e^{+f(x)};\quad e^{-f(x)};\quad e^{+if(x)};\quad e^{-if(x)} \text{“} \tag{20}$$

ist durchaus unzutreffend.

Ist $e^{+f(x)}$ ein partikuläres Integral der Gl. 18), so können die drei übrigen partikulären Integrale von 18) unmöglich $e^{-f(x)}$; $e^{+if(x)}$; $e^{-if(x)}$ sein.

Versucht man nämlich Gl. 18) durch einen Ansatz von der Form $X = e^{\varphi(x)}$ zu integrieren, so entsteht nach Einschieben in 18) die determinierende Gleichung für $\varphi(x)$

$$(\varphi')^4 + 6(\varphi')^2\varphi'' + 3(\varphi'')^2 + 4\varphi'\varphi''' + \varphi'''' - \frac{C_1 k^2}{E} x^{-\frac{2}{3}} = 0 \tag{18a}$$

(Ableitungen nach x durch Akzente angedeutet).

Gl. 18a) ist ebenso als algebraische Gleichung in (φ') wie als Differentialgleichung in φ aufgefaßt, vierten Grades bzw. vierter Ordnung; sie besitzt daher vier voneinander verschiedene und unabhängige Lösungen. Ist $\varphi_1(x) = +f(x)$ irgendeine dieser Lösungen, so ist es klar, daß die drei übrigen Lösungen nicht $\varphi_2 = -f(x)$; $\varphi_3 = +if(x)$; $\varphi_4 = -if(x)$ sind, welche sich von φ_1 nur durch eine numerische Konstante unterscheiden.

Daß die drei Ansätze $\varphi_{2,3,4} = -f(x), +if(x), -if(x)$ die Gl. 18a) gar nicht erfüllen, wenn $\varphi_1 = +f(x)$ eine Lösung von 18a) ist, zeigt übrigens eine einfache Rechnung, indem man nach Einsetzen von $-f(x)$, $+if(x)$, $-if(x)$ für $\varphi(x)$ in 18a) nicht die Sollgleichung

$$(f')^4 + 6(f')^2 f'' + 3(f'')^2 + 4f'f''' + f'''' - \frac{C_1 k^2}{E} x^{-\frac{2}{3}} = 0$$

wieder erhält, sondern jedesmal etwas ganz anderes!

Die 4 Ansätze $e^{+f(x)}$, $e^{-if(x)}$, $e^{+i(x)}$, $e^{-if(x)}$ sind lediglich für den Fall des Stabes konstanter Dicke gültig, in welchem sich $\varphi(x)$ zu $C^{te}x$, und Gl. 18a zu $(\varphi')^4 - \frac{C_1 k^2}{E} = 0$ reduziert.

Im Falle des Stabes veränderlicher Dicke sind sie falsch.

Infolge der zwei unter 1. und 2. erläuterten Fehler wird der ganze erste Teil der Arbeit des Herrn Dr. O. Holm anfechtbar.

II. Da die von Herrn Dr. Holm aufgegriffene Aufgabe, die elastische Schwingung eines Stabes veränderlichen Durchmessers $u = C^{te} x^p$ mit $p = \frac{1}{3}$, für die Physik und die Instrumentenkunde von Wichtigkeit ist, und unseres Wissens in der Literatur noch nicht eingehend behandelt worden ist, ist es von Interesse, auf dieselbe näher einzugehen.

Dieses Problem dürfte u. E. richtig in folgender, der Kürze halber nur in großen Zügen angedeuteten Weise zu behandeln sein. Wir schließen an die Ausgangsgleichungen auf S. 16 an.

Gl. 6) lautet korrekt:

$$\frac{\partial S}{\partial x} = -E\left(J\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + 2\frac{\partial J}{\partial x}\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 J}{\partial x^2}\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right). \tag{6}$$

Dieser Wert in Gl. 3) $\left(\frac{\partial S}{\partial x}dx - \varrho Q\,dx\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0\right)$ eingesetzt, gibt:

$$E\left(J\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + 2\frac{\partial J}{\partial x}\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} + \frac{\partial^2 J}{\partial x^2}\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right) + \varrho Q\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \tag{8}$$

Gemäß Gl. 2) wird:

Trägheitsmoment $J = \frac{\pi u^4}{64} = \frac{\pi}{64}\left(\frac{32P}{\pi k_b}\right)^{\frac{4}{3}} x^{\frac{4}{3}}$; Querschnitt $Q = \frac{\pi u^2}{4} = \frac{\pi}{4}\left(\frac{32P}{\pi k_b}\right)^{\frac{2}{3}} x^{\frac{2}{3}}$,

und mit $16\varrho\left(\frac{\pi k_b}{32P}\right)^{\frac{2}{3}} = C_1$ findet sich nach Einschieben in 8):

$$E\left(\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} + 2\cdot\frac{4}{3}\cdot\frac{1}{x}\frac{\partial^3 y}{\partial x^3} + \frac{4}{3}\cdot\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{x^2}\frac{\partial^2 y}{\partial x^2}\right) + C_1 x^{-\frac{2}{3}}\frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = 0. \tag{11}$$

Bei Annahme des Ansatzes

$$y = X(x) \cdot T(t); \quad \frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \frac{d^4 X}{d x^4} \cdot T; \quad \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = X \frac{d^2 T}{d t^2} \text{ [1]} \qquad 12),\ 13),\ 14)$$

geht Gl. 11) über in:

$$\frac{E\left(\frac{d^4 X}{d x^4} + 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{x} \frac{d^3 X}{d x^3} + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{x^2} \frac{d^2 X}{d x^2}\right)}{x^{-\frac{2}{3}} X} = - C_1 \frac{\frac{d^2 T}{d t^2}}{T} = k^2 C_1\,, \qquad 16)$$

und, unter $k^2 C_1$ der gemeinsame konstante Wert beider Glieder verstanden, zerfällt 16) in die beiden Differentialgleichungen mit je nur einer Variablen:

$$\frac{d^2 T}{d t^2} + k^2 T = 0\,, \qquad 17)$$

$$\frac{d^4 X}{d x^4} + 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{x} \frac{d^3 X}{d x^3} + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{x^2} \frac{d^2 X}{d x^2} - \frac{C_1 k^2}{E} x^{-\frac{2}{3}} X = 0\,. \qquad 18)$$

Allgemeines Integral von 17) (im Urtext angegeben):

$$T = a \cos k t + b \sin k t\,. \qquad 19)$$

Zur Integration von 18) sind folgende Methoden anwendbar:

a) Integration mittels Reihen.

Wir suchen Gl. 18) durch einen Ansatz zu integrieren von der Form

$$X = K_0 x^m + K_1 x^{m+1 \cdot n} + K_2 x^{m+2 \cdot n} + \cdots = \sum_{j=0}^{j=\infty} K_j x^{m+nj}\,. \qquad 20)$$

Zunächst ist:

$$\frac{d^4 X}{d x^4} + 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{x} \frac{d^3 X}{d x^3} + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{x^2} \frac{d^2 X}{d x^2} = (\text{ausgerechnet}) \sum_{i=0}^{i=\infty} K_j (m+nj)(m+nj-1)$$
$$\left[(m+nj-2)(m+nj-3) + 2 \cdot \frac{4}{3}(m+nj-2) + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3}\right] x^{m+nj-4}\,.$$

Somit, in die Gl. 18) eingeschoben:

$$\sum_{j=0}^{j=\infty} K_j (m+nj)(m+nj-1)\left[(m+nj-2)(m+nj-3) + 2 \cdot \frac{4}{3}(m+nj-2) + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3}\right] x^{m+nj-4}$$
$$- \sum_{j=0}^{j=\infty} \frac{C_1 k^2}{E} K_j x^{m+nj-\frac{2}{3}} = 0\,. \qquad 21)$$

Es ist sofort ersichtlich, daß in dieser doppelten Summe das paarweise Sichaufheben der Glieder gleichen Indexes j von beiden Summanden unmöglich ist, die die Glieder gleichen Ranges in $X'''' + 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{x} X''' + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{x^3} X''$ und $x^{-\frac{2}{3}} X$ Potenxen von x mit verschiedenem Exponent aufweisen. Dagegen läßt sich das paarweise Sichaufheben der Glieder beider Summanden sofort restlos erreichen, wenn man so verfügt, daß das zweite Glied in $X'''' + 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{x} X''' + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3} \cdot \frac{1}{x^2} X''$ sich mit dem ersten Gliede in $x^{-\frac{2}{3}} X$ weghebt, das dritte im ersten Ausdruck mit dem zweiten im zweiten Ausdruck usf., allgemein das $j+1^{\text{te}}$ Glied im ersten Ausdruck sich gegen das j^{te} im zweiten weghebt. Diese Verfügung verlangt allerdings, daß das Glied vom Index 0 im ersten Summand für sich allein verschwinde.

---

[1]) und nicht

$$\frac{\partial^4 y}{\partial x^4} = \frac{\partial^4 X}{\partial x^4} T; \quad \frac{\partial^2 y}{\partial t^2} = X \frac{\partial^2 T}{\partial t^2}$$

wie im Urtext! (Verf.)

Wir bringen dies zum Ausdruck, indem wir 21) identisch schreiben:

$$\sum_{j=0}^{j=\infty} K_{j+1}(m+n(j+1))(m+n(j+1)-1)$$

$$\left[(m+n(j+1)-2)(m+n(j+1)-3)+2\cdot\frac{4}{3}(m+n(j+1)-2)+\frac{4}{3}\cdot\frac{1}{3}\right]x^{m+n(j+1)-4}$$

$$+K_0\, m(m-1)\left[(m-2)(m-3)+2\cdot\frac{4}{3}(m-2)+\frac{4}{3}\cdot\frac{1}{3}\right]x^{m-4}$$

$$-\sum_{j=0}^{j=\infty}\frac{C_1 k^2}{E} K_j\, x^{m+nj-\frac{2}{3}} = 0\,. \qquad 22)$$

Die Identifikation der Potenzen von x ergibt:

$$m+n(j+1)-4 = m+nj-\frac{2}{3}\,, \qquad 23)$$

daraus $n=\frac{10}{3}$, während das Verschwinden des Gliedes in $j=0$ zur Bedingung macht, daß

$$m(m-1)\left[(m-2)(m-3)+2\cdot\frac{4}{3}(m-2)+\frac{4}{3}\cdot\frac{1}{3}\right]=m(m-1)\left(m^2-\frac{7}{3}m+\frac{10}{9}\right)=0\,, \qquad 24)$$

woraus sich für den Anfangsexponenten m die vier Wurzeln ergeben:

$$m=0;\qquad m=1;\qquad m=\frac{2}{3};\qquad m=\frac{5}{3}\,.$$

Schließlich folgt das Koeffizientenbildungsgesetz aus 22) zu:

$$K_{j+1} = \frac{\frac{C_1 k^2}{E}\cdot K_j}{(m+n(j+1))(m+n(j+1)-1)\left[(m+n(j+1)-2)(m+n(j+1)-3)+2\cdot\frac{4}{3}(m+n(j+1)-2)+\frac{4}{3}\cdot\right.}$$

was unter zweckmäßiger Anwendung der Bemerkung 24), daß das Trinom zweiten Grades in der eckigen Klammer die Nullstellen $+\frac{2}{3}$, $+\frac{5}{3}$ besitzt, und durch Setzen von $j-1$ anstatt j zu der sehr übersichtlichen Rekurrenzformel führt:

$$K_j = \frac{\frac{C_1 k^2}{E}\cdot K_{j-1}}{(m+nj)(m+nj-1)\left(m+nj-\frac{2}{3}\right)\left(m+nj-\frac{5}{3}\right)}\,. \qquad 25)$$

Der Koeffizient des Anfangsgliedes einer jeden der vier zu bildenden Reihen wird mit $j=0$, $K_{-1}=0$ zu $K_0=\frac{0}{0}=$ unbestimmt, aber reell, welchem Ausdruck wir in jeder Reihe den willkürlichen Wert 1 beilegen.

Mit $m=0$, $+1$, $+\frac{2}{3}$, $+\frac{5}{3}$ enthält man sodann in Reihenform in die vier Integrale der Differentialgleichung 18):

$$
\left.\begin{aligned}
&= 0 \quad I_1 = 1 + \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)}{\left(\frac{10}{3}\right)\left(\frac{10}{3}-1\right)\left(\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)}\, x^{\frac{10}{3}} \\
&\qquad + \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)^2}{\left(\frac{10}{3}\right)\left(2\cdot\frac{10}{3}\right)\cdot\left(\frac{10}{3}-1\right)\left(2\cdot\frac{10}{3}-1\right)\cdot\left(\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(2\cdot\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\cdot\left(\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)\left(2\cdot\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)}\, x^{\frac{20}{3}} + \cdots \text{usw.,} \\
&= 1 \quad I_2 = x + \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)}{\left(1+\frac{10}{3}\right)\left(1+\frac{10}{3}-1\right)\left(1+\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(1+\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)}\, x^{1+\frac{10}{3}} \\
&\qquad + \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)^2}{\left(1+\frac{10}{3}\right)\left(1+2\cdot\frac{10}{3}\right)\cdot\left(1+\frac{10}{3}-1\right)\left(1+2\cdot\frac{10}{3}-1\right)\cdot\left(1+\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(1+2\cdot\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\cdot\left(1+\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)\left(1+2\cdot\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)}\, x^{1+\frac{20}{3}} \\
&\qquad + \cdots \text{usw.,} \\
&= \frac{2}{3} \quad I_3 = x^{\frac{2}{3}} + \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)}{\left(\frac{2}{3}+\frac{10}{3}\right)\left(\frac{2}{3}+\frac{10}{3}-1\right)\left(\frac{2}{3}+\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(\frac{2}{3}+\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)}\, x^{\frac{2}{3}+\frac{10}{3}} \\
&\qquad + \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)^2}{\left(\frac{2}{3}+\frac{10}{3}\right)\left(\frac{2}{3}+2\cdot\frac{10}{3}\right)\cdot\left(\frac{2}{3}+\frac{10}{3}-1\right)\left(\frac{2}{3}+2\cdot\frac{10}{3}+1\right)\cdot\left(\frac{2}{3}+\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(\frac{2}{3}+2\cdot\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\cdot\left(\frac{2}{3}+\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)\left(\frac{2}{3}+2\cdot\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)}\, x^{\frac{2}{3}+\frac{20}{3}} \\
&\qquad + \cdots \text{usw.,} \\
&= \frac{5}{3} \quad I_4 = x^{\frac{5}{3}} + \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)}{\left(\frac{5}{3}+\frac{10}{3}\right)\left(\frac{5}{3}+\frac{10}{3}-1\right)\left(\frac{5}{3}+\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(\frac{5}{3}+\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)}\, x^{\frac{5}{3}+\frac{10}{3}} \\
&\qquad + \frac{\left(\frac{C_1 k_2}{E}\right)^2}{\left(\frac{5}{3}+\frac{10}{3}\right)\left(\frac{5}{3}+2\cdot\frac{10}{3}\right)\cdot\left(\frac{5}{3}+\frac{10}{3}-1\right)\left(\frac{5}{3}+2\cdot\frac{10}{3}-1\right)\cdot\left(\frac{5}{3}+\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\left(\frac{5}{3}+2\cdot\frac{10}{3}-\frac{2}{3}\right)\cdot\left(\frac{5}{3}+\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)\left(\frac{5}{3}+2\cdot\frac{10}{3}-\frac{5}{3}\right)}\, x^{\frac{5}{3}+\frac{20}{3}} \\
&\qquad + \cdots \text{usw.}
\end{aligned}\right\} \quad 26)
$$

Daß die Reihen konvergierend sind, folgt daraus, daß das Verhältnis des $(j+1)^{\text{ten}}$ zum j^{ten} Gliede bei genügend großem j der Grenze

$$\frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)^{j+1} x^{\frac{10}{3}(j+1)}}{\left[\left(\frac{10}{3}\right)^{j+1}\cdot(j+1)!\right]^4} : \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right)^{j} x^{\frac{10}{3}j}}{\left[\left(\frac{10}{3}\right)^{j}\cdot j!\right]^4} = \frac{\left(\frac{C_1 k^2}{E}\right) x^{\frac{10}{3}}}{\left(\frac{10}{3}\right)^4\cdot(j+1)^4}$$

zustrebt, welche für jedes x in $j=\infty$ nach 0 geht.

Die Bildungsweise der Reihen ist ohne weiteres klar und läßt sich dem Gedächtnis leicht einprägen. Die Reihen sind handlich und für die zahlenmäßige Berechnung geeignet.

Das vollständige Integral der Gl. 18) ist somit

$$X = A I_1 + B I_2 + C I_3 + D I_4 \qquad 27)$$

$(A, B, C, D =$ Integrationskonstanten).

b) Angenäherte Integration mittels Zylinderfunktionen:

Die Gestalt der Gl. 18) läßt sofort vermuten, daß dieselbe mit den Zylinderfunktionen verwandt sein muß. Dies leitet zu dem Gedanken, ihre Integration durch Zurückführung auf Zylinderfunktionen zu suchen.

Setzen wir abkürzend (Ableitungen durch Akzente angedeutet):

$$\Delta(z, x) = z'' + \frac{1-2\alpha}{x} z' + \left(\beta^2\gamma^2 x^{2\gamma-2} + \frac{\alpha^2-\mu^2\gamma^2}{x^2}\right) z \qquad 28)$$

$(\alpha, \beta, \gamma, \mu =$ Parameter)

und bedeuten a, b und c drei von x unabhängige Konstanten, so stellt der Ausdruck

$$\frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{a}{x}\frac{\partial \Delta}{\partial x} + \left(\frac{b}{x^2} + c x^{2\gamma-2}\right)\Delta = 0$$

identisch folgende lineare Differentialgleichung vierter Ordnung dar:

$$\begin{aligned}\frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{a}{x}\frac{\partial \Delta}{\partial x} + \left(\frac{b}{x^2} + c x^{2\gamma-2}\right)\Delta &= z'''' + \frac{1-2\alpha+a}{x} z''' \\ &+ \left(c x^{2\gamma-2} + \beta^2\gamma^2 x^{2\gamma-2} + \frac{(\alpha^2-\mu^2\gamma^2) + (a-2)(1-2\alpha) + b}{x^2}\right) z'' \\ &+ \Big((1-2\alpha) c x^{2\gamma-3} + \beta^2\gamma^2 (2(2\gamma-2)+a) x^{2\gamma-3} \\ &\qquad + \frac{(a-4)(\alpha^2-\mu^2\gamma^2) + (2-a+b)(1-2\alpha)}{x^3}\Big) z' \\ &+ \Big(\beta^2\gamma^2 c x^{4\gamma-4} + (\alpha^2-\mu^2\gamma^2) c x^{2\gamma-4} + \beta^2\gamma^2\{(2\gamma-2)(2\gamma-3+a)+b\} x^{2\gamma-4} \\ &\qquad + \frac{(6-2a+b)(\alpha^2-\mu^2\gamma^2)}{x^4}\Big) z = 0. \end{aligned} \qquad 29)$$

Die der Gl. 29) äquivalente Gleichung

$$\frac{\partial^2 \Delta}{\partial x^2} + \frac{a}{x}\frac{\partial \Delta}{\partial x} + \left(\frac{b}{x^2} + c x^{2\gamma-2}\right)\Delta = 0, \qquad 30)$$

als Differentialgleichung zweiter Ordnung in Δ aufgefaßt, besitzt zunächst das selbstverständliche Integral

$$\Delta = 0, \qquad 31)$$

sodann die weiteren beiden partikulären Integrale[1])

$$\Delta = C^{te} x^{\frac{1-a}{2}} J_\nu\left(\frac{\sqrt{c}}{\gamma} x^\gamma\right) \quad \text{und} \quad \Delta = C^{te} x^{\frac{1-a}{2}} Y_\nu\left(\frac{\sqrt{c}}{\gamma} x^\gamma\right) \qquad 32)$$

$$\text{mit } \nu = \frac{1}{\gamma}\sqrt{\left(\frac{1-a}{2}\right)^2 - b}.$$

Die beiden Integrale der Gl. 31)

$$\Delta = 0, \qquad z'' + \frac{1-2\alpha}{x} z' + \left(\beta^2\gamma^2 x^{2\gamma-2} + \frac{\alpha^2-\mu^2\gamma^2}{x^2}\right) z = 0 \qquad 31a)$$

---

[1]) Siehe Fußbemerkung S. 591.

sind [1])

$$z_1 = x^{\alpha} J_{\mu}(\beta x^{\gamma}) \quad \text{und} \quad z_2 = x^{\alpha} Y_{\mu}(\beta x^{\gamma}) \text{ [2]}, \tag{33)}$$

während partikuläre Integrale der beiden Gl. 32) (den willkürlichen C^{ten} absichtlich der Wert $\beta^{\varrho+2}\gamma^2$ beigelegt):

$$\left.\begin{array}{c} \Delta = C^{\text{te}} x^{\frac{1-a}{2}} J_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\gamma} x^{\gamma}\right) \\ \text{bzw.} \\ \Delta = C^{\text{te}} x^{\frac{1-a}{2}} Y_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\gamma} x^{\gamma}\right), \end{array}\right\} \tag{32a)}$$

d. h.

$$z'' + \frac{1-2\alpha}{x} z' + \left(\beta^2\gamma^2 x^{2\gamma-2} + \frac{\alpha^2-\mu^2\gamma^2}{x^2}\right) z = \left\{\begin{array}{c} \beta^{\varrho+2}\gamma^2 x^{\frac{1-a}{2}} J_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\gamma} x^{\gamma}\right) \\ \text{bzw.} \\ \beta^{\varrho+2}\gamma^2 x^{\frac{1-a}{2}} Y_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\gamma} x^{\gamma}\right) \end{array}\right.$$

$$= \text{identisch} = \left\{\begin{array}{c} \beta^2\gamma^2 x^{\alpha+2\gamma-2} (\beta x^{\gamma})^{\varrho} J_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma} \beta x^{\gamma}\right) \\ \text{bzw.} \\ \beta^2\gamma^2 x^{\alpha+2\gamma-2} (\beta x^{\gamma})^{\varrho} Y_{\gamma}\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma} \beta x^{\gamma}\right) \end{array}\right.$$

$$\text{mit} \quad \varrho = \frac{1-a-2\alpha-4\gamma+4}{2\gamma},$$

gegeben sind durch [3]):

$$z_3 = x^{\alpha} K_{\mu,\nu}(\beta x^{\gamma}) \quad \text{und} \quad z_4 = x^{\alpha} Z_{\mu,\nu}(\beta x^{\gamma}), \tag{34)}$$

wobei

$$\left.\begin{array}{l} J_{\mu}(x) = \left\{\begin{array}{c}\text{Zylinderfunktion erster}\\ \text{Art (oder Besselsche)}\\ \text{vom Modul } \mu\end{array}\right. \\ Y_{\mu}(x) = \left\{\begin{array}{c}\text{Zylinderfunktion zweiter}\\ \text{Art (oderNeumannsche)}\\ \text{vom Modul } \mu\end{array}\right. \end{array}\right\} = \text{partikuläre Integrale von } y'' + \frac{1}{x} y' + \left(1 - \frac{\mu^2}{x^2}\right) y = 0.$$

$$K_{\mu,\nu}(x) = -\frac{\pi}{2}\left(\int_0^x x^{\varrho+1} J_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma} x\right) \cdot Y_{\mu}(x)\, dx\right) \cdot J_{\mu}(x) + \frac{\pi}{2}\left(\int_0^x x^{\varrho+1} J_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma} x\right) \cdot J_{\mu}(x)\, dx\right) \cdot Y_{\mu}(x)$$

$$= \text{partikuläres Integral von } y'' + \frac{1}{x} y' + \left(1 - \frac{\mu^2}{x^2}\right) y = x^{\varrho} J_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma} x\right),$$

---

[1]) Siehe Nielsen, Handbuch der Theorie der Zylinderfunktionen. Leipzig, B. G.Teubner.

[2]) Eine Eigenschaft, die wir von der Theorie der Zylinderfunktionen her als bekannt voraussetzen. Ist $y = F(x)$ ein Integral der nichthomogenen Gleichung

$$y'' + \frac{1}{x} y' + \left(1 - \frac{\mu^2}{x^2}\right) y = f(x),$$

so zeigt diese Theorie, daß die Gleichung

$$z'' + \frac{1-2\alpha}{x} z' + \left(\beta^2\gamma^2 x^{2\gamma-2} + \frac{\alpha^2-\mu^2\gamma^2}{x^2}\right) z = \beta^2\gamma^2 x^{\alpha+2\gamma-2} f(\beta x^{\gamma})$$

das Integral $z = x^{\alpha} f(\beta x^{\gamma})$ besitzt. Dieses Resultat mit

$$f(x) = 0, \qquad f(x) = x^{\varrho} J_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma} x\right), \qquad f(x) = x^{\varrho} Y_{\nu}\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma} x\right)$$

auf 30), 31) und 32) angewendet, ergibt sofort die Lösungen 32), 33) und 34).

[3]) a. a. O.

$$Z_{\mu,\nu}(x) = -\frac{\pi}{2}\left(\int\limits_0^x x^{\varrho+1}\, Y_\nu\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma}x\right)\cdot Y_\mu(x)\,dx\right)\cdot J_\mu(x) + \frac{\pi}{2}\left(\int\limits_0^x x^{\varrho+1}\, Y_\nu\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma}x\right)\cdot J_\mu(x)\,dx\right)\cdot Y_\nu(x)$$

$$= \text{partikuläres Integral von } y'' + \frac{1}{x}y' + \left(1 - \frac{\mu^2}{x^2}\right)y = x^\varrho\, Y_\nu\left(\frac{\sqrt{c}}{\beta\gamma}x\right).$$

Demzufolge hat die Gleichung vierter Ordnung (29) das vollständige Integral

$$z = A x^\alpha J_\mu(\beta x^\gamma) + B x^\alpha Y_\mu(\beta x^\gamma) + C x^\alpha K_{\mu,\nu}(\beta x^\gamma) + D x^\alpha Z_{\mu,\nu}(\beta x^\gamma); \qquad 35)$$

$A, B, C, D =$ Integrationskonstanten.

Gl. 29) ist von genau derselben Form wie die vorgelegte Gl. 18):

$$X'''' + 2\cdot\frac{4}{3}\cdot\frac{1}{x}X''' + \frac{4}{3}\cdot\frac{1}{3}\cdot\frac{1}{x^2}X'' - \frac{C_1 k^2}{E}x^{-\frac{2}{3}}X = 0 \qquad 18)$$

und kann durch passende Wahl des Moduls μ und der sechs Parameter $\alpha, \beta, \gamma, a, b, c$ zur zahlenmäßigen Übereinstimmung mit letzterer gebracht werden.

Die Identifikation von 29) mit 18) liefert die 9 Bedingungen:

$$\left.\begin{array}{llll}
\text{I)} & 1 - 2\alpha + a & = 2\cdot\frac{4}{3} & \\
\text{II)} & (\alpha^2 - \mu^2\gamma^2) + (a-2)(1-2\alpha) + b & = \frac{4}{3}\cdot\frac{1}{3} & \text{V)}\; c + \beta^2\gamma^2 = 0 \\
\text{III)} & (a-4)(\alpha^2-\mu^2\gamma^2) + (2-a+b)(1-2\alpha) = 0 & & \text{VI)}\; (1-2\alpha)c + \beta^2\gamma^2(2(2\gamma-2)+a) = 0 \\
\text{IV)} & (6-2a+b)(\alpha^2-\mu^2\gamma^2) & = 0 & \text{VII)}\; \beta^2\gamma^2 c = -\frac{C_1 k^2}{E} \\
 & & & \text{VIII)}\; (\alpha^2-\mu^2\gamma^2)c + \beta^2\gamma^2\{(2\gamma-2)(2\gamma-3+a)+b\} = 0 \\
 & & & \text{IX)}\; 4\gamma - 4 = -\frac{2}{3}
\end{array}\right\} 36)$$

zur Bestimmung der nur 7 Freiwerte $\mu, \alpha, \beta, \gamma, a, b, c$, so daß von den 9 Gleichungen 36) zwei überzählig sind. Nun zeigt es sich, daß VIII) identisch ist mit der Gesamtheit der 4 vorderen I), II), III), V), so daß nur noch eine von den 9 Gleichungen 36) unerfüllt bleiben muß; welche — ist vorläufig unentschieden. Andererseits sind mehrere der 9 Gleichungen 36) in bezug auf die einzelnen Buchstaben höheren (im Maximum vierten) Grades, in bezug auf die Gesamtheit der in ihren Gliedern auftretenden Buchstaben noch mehr höheren (im Maximum sechsten) Grades, so daß das System 36), nach $\mu, \alpha, \beta, \gamma, a, b, c$ aufgelöst, mehrere (im Maximum 6) Wertegruppen $\mu, \alpha, \beta, \gamma, a, b, c$, welche 8 von den 9 Gleichungen 36) erfüllen, liefert. Welche von den 9 Wertegruppen als maßgebend unter Ausschluß der 5 übrigen zu behalten ist, ist zunächst ebenfalls auch unbestimmt; dabei ist aber ausschlaggebend, ob $\alpha^2 - \mu^2\gamma^2 \neq 0$ oder $= 0$ gewählt wird.

Diese doppelte Unbestimmtheit wird eindeutig durch die Erwägung behoben, daß die Lösung 35) der Gleichung 29) im Grenzfalle des Stabes konstanter Dicke in die bekannte Lösung des schwingenden parallelwandigen Stabes übergehen muß.

Nun nimmt für den Stab konstanten Querschnittes Gl. 18) die Grenzform an:

$$X'''' - \frac{C_1 k^2}{E}X = 0. \qquad 18')$$

Die rechten Seiten der Gl. 36, I), 36, II), 36, IX) sind hier $= 0$. Durch folgende Werte der 7 Parameter:

$$\mu = +\frac{1}{2}; \qquad \alpha = +\frac{1}{2}; \qquad \beta = \sqrt[4]{+1}\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}} = \left.\begin{array}{c}+1\\-1\\+i\\-i\end{array}\right\}\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}; \qquad 37)$$

$$\gamma = +1;\quad a = 0;\quad b = 0;\quad c = -\beta^2$$

sind sämtliche 9 Gleichungen 36) restlos erfüllt; ferner

$$\alpha^2 - \mu^2\gamma^2 = 0.$$

Die beiden ersten Integrale 33) sind hier mit

$$J_{\frac{1}{2}}(\beta x) = \sqrt{\frac{2}{\pi(\beta x)}} \sin(\beta x); \qquad Y_{\frac{1}{2}}(\beta x) = -\sqrt{\frac{2}{\pi(\beta x)}} \cos(\beta x); \;^{1)}$$

$$z_1 = x^{\frac{1}{2}} J_{\frac{1}{2}}(\beta x) = \sqrt{\frac{2}{\pi\beta}} \sin(\beta x); \qquad z_2 = x^{\frac{1}{2}} Y_{\frac{1}{2}}(\beta x) = -\sqrt{\frac{2}{\pi\beta}} \cos(\beta x); \qquad 38)$$

$$(\nu = \mu, \quad \varrho = 0);$$

während die beiden letzten Integrale 34) sind:

$$\left.\begin{aligned} z_3 &= -x^{\frac{1}{2}} \frac{\pi\beta}{2}\left(\int_0^x x\, J_{\frac{1}{2}}(\beta x)\cdot Y_{\frac{1}{2}}(\beta x)\, dx\right)\cdot J_{\frac{1}{2}}(\beta x) + x^{\frac{1}{2}} \frac{\pi\beta}{2}\left(\int_0^x x\, J_{\frac{1}{2}}(\beta x)\cdot J_{\frac{1}{2}}(\beta x)\, dx\right)\cdot Y_{\frac{1}{2}}(\beta x), \\ z_4 &= -x^{\frac{1}{2}} \frac{\pi\beta}{2}\left(\int_0^x x\, Y_{\frac{1}{2}}(\beta x)\cdot Y_{\frac{1}{2}}(\beta x)\, dx\right)\cdot J_{\frac{1}{2}}(\beta x) + x^{\frac{1}{2}} \frac{\pi\beta}{2}\left(\int_0^x x\, Y_{\frac{1}{2}}(\beta x)\cdot J_{\frac{1}{2}}(\beta x)\, dx\right)\cdot Y_{\frac{1}{2}}(\beta x). \end{aligned}\right\} \quad 39)$$

Letztere führen offenbar nicht zu einfachen sin- und cos-Funktionen, wie die Integrale des parallelen Stabes sollten. Sie sind daher als **fremde Lösungen** anzusehen, die durch Verwendung der Biegungsgleichung vierten Grades anstatt der solchen zweiten Grades eingeführt worden sind[2]), und folglich auszuschalten. Es verbleiben also bloß die Integrale 38) mit der vierfachen Wahl $\beta = \left.\begin{matrix}+1\\-1\\+i\\-i\end{matrix}\right\} \sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}$; die negativen Wurzeln -1, $-i$ leiten aber nicht zu anderen unabhängigen Integralen als die positiven, da die Zylinderfunktionen in $x = 0$ einen Symmetriepunkt besitzen. Sodann sind nur noch die Integrale z_1 und z_2 [38)] für $\beta = +\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}$ und $+i\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}$ zu berücksichtigen, womit man tatsächlich aus der Lösung 35) hier die verlangte Schwingungsfigur des parallelwandigen Stabes erhält $\left(\text{bis auf die Konstante } \sqrt{\frac{2}{\pi\beta}}\right)$:

$$X = A \sin\left(\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x\right) + B \cos\left(\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x\right) + A' \,\mathfrak{Sin}\left(\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x\right) + B' \,\mathfrak{Cof}\left(\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x\right). \qquad 40)$$

Die sinngemäße Übertragung der Resultate dieses Grenzfalles auf den kubisch verjüngten Stab, Gl. 18), zeigt, daß man $\alpha^2 - \mu^2\gamma^2 = 0$ festhalten muß, und daß als nichterfüllte Gleichung 36, VI) zu wählen ist. Damit erhält man als einzig brauchbare, sich dem Grenzfall des konstanten Querschnittes anpassende Wertegruppe:

$$\mu = +\frac{3}{5}; \qquad \alpha = +\frac{1}{2}; \qquad \beta = \left.\begin{matrix}+1\\+i\end{matrix}\right\} \frac{6}{5}\sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}; \qquad \gamma = \frac{5}{6};$$

$$a = \frac{8}{3}; \qquad b = \frac{4}{9}; \qquad c = -\begin{pmatrix}+1\\ \text{oder}\\ +i\end{pmatrix}^2 \sqrt{\frac{C_1 k^2}{E}}.$$

---

[1]) Siehe Nielsen, Handbuch der Theorie der Zylinderfunktionen, oder Schafheitlin, Die Theorie der Besselschen Funktionen. Leipzig, B. G. Teubner 1908.

[2]) Welcher Umstand in der Ausführung der Operation

$$\frac{d^2()}{dx^2} + \frac{a}{x}\frac{d()}{dx} + \left(\frac{b}{x^2} + c x^{2\gamma-2}\right)()$$

am Differentialausdruck $\varDelta$ zur Erscheinung kommt.

Zur Kontrolle findet man durch Nachrechnen in der Tat:

$$\varDelta = z'' + \frac{1-2\alpha}{x} z' + \left(\beta^2 \gamma^2 x^{2\gamma-2} + \frac{\alpha^2 - \mu^2 \gamma^2}{x^2}\right) z = z'' + \begin{pmatrix} +1 \\ \text{oder} \\ +i \end{pmatrix}^2 \sqrt{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x^{-\frac{1}{3}} z, \tag{41}$$

$$\varDelta'' + \frac{a}{x} \varDelta' + \left(\frac{b}{x^2} + c\, x^{2\gamma-2}\right) \varDelta = z'''' + 2 \cdot \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{x} z''' + \frac{4}{3} \cdot \frac{1}{3} \frac{1}{x^2} z''$$
$$+ \left(\begin{pmatrix} +1 \\ \text{oder} \\ +i \end{pmatrix}^2 \frac{6}{3} \sqrt{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x^{-\frac{4}{3}} z'\right) - \frac{C_1 k^2}{E} x^{-\frac{2}{3}} z = 0, \tag{42}$$

welch letztere Gleichung bis an das infolge unmöglicher Beachtung von 36, VI) auftretende überzählige Glied in z' mit der Problemgleichung 18) übereinstimmt.

Gemäß 33), 35), 39), 40) ist die Lösung der Gl. 42):

$$X = A x^{\frac{1}{2}} J_{\frac{3}{5}} \left(\frac{6}{5} \sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x^{\frac{5}{6}}\right) + B x^{\frac{1}{2}} Y_{\frac{3}{5}} \left(\frac{6}{5} \sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x^{\frac{5}{6}}\right)$$
$$+ A' x^{\frac{1}{2}} J_{\frac{3}{5}} \left(i \frac{6}{5} \sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x^{\frac{5}{6}}\right) + B' x^{\frac{1}{2}} Y_{\frac{3}{5}} \left(i \frac{6}{5} \sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x^{\frac{5}{6}}\right) \tag{43}$$

$(A, B, A', B' = \text{Konstanten})$.

Nun ist für den in Abb. 3 dargestellten kubisch profilierten runden Stab mit der Länge $l = 7{,}0$ cm, dem Einspannungsdurchmesser $u_1 = 0{,}81$ cm, der Dichte $\varrho = \frac{0{,}00785}{981} \frac{\text{kgsec}^2}{\text{cm}^4}$ (Stahl) und der Eigenschwingungszahl $n \simeq 1860$ Schw./sec:

$$C_1 = 16 \varrho \left(\frac{\pi k_b}{32 P}\right)^{\frac{2}{3}} = 16 \varrho \frac{l^{\frac{2}{3}}}{u_1{}^2} = 0{,}714 \times 10^{-3} \frac{\text{kgcm}^{\frac{2}{3}} \text{sec}^2}{\text{cm}^6};$$

$$k = 2 \pi n = 2 \pi \times 1860 \text{ sec}^{-1} = 11 \cdot 700 \text{ sec}^{-1}; \qquad E = 2100000 \text{ kg/cm}^2.$$

Somit

$$\frac{C_1 k^2}{E} = 0{,}0466 \frac{\text{cm}^{\frac{2}{3}}}{\text{cm}^4}; \qquad \frac{6}{3} \sqrt{\frac{C_1 k^2}{E}} = 0{,}432 \frac{\text{cm}^{\frac{1}{3}}}{\text{cm}^2},$$

so daß das Glied in z' in Gl. 42) gegenüber dem Glied in z nicht vernachlässigbar ist, sondern gleicher Größenordnung. Gl. 42) darf also **nicht** angenähert an Stelle der wahren Problemgleichung 18) genommen werden. Daher wird Gl. 18) letzten Endes nicht durch die vierteilige Zylinderfunktion 43) in $\mu = \frac{3}{5}$ integriert, sondern durch eine Reihe von vierteiligen Zylinderfunktionen, deren Anfangsglieder sich unschwer angeben ließen:

$$X = \mathfrak{C}_1 + \mathfrak{C}_2 + \mathfrak{C}_3 + \cdots, \tag{44}$$

wobei das weitaus überwiegende (weil bei konstanter Dicke allein verbleibende) erste Glied $\mathfrak{C}_1$ durch 43) definiert ist.

Das Interessante an den Näherungslösungen 43), 44) mittels Zylinderfunktionen liegt darin, daß für letztere die bekannten, rasch konvergierenden asymptotischen Darstellungen bestehen (gültig für s positiv und reell oder rein imaginär)[1]):

$$\left.\begin{aligned}
&\left.\begin{aligned}
J_\mu(s) &= \sqrt{\frac{2}{\pi s}} \left[\cos\left(s - \frac{2\mu+1}{4}\pi\right) P_\mu(s) - \sin\left(s - \frac{2\mu+1}{4}\pi\right) Q_\mu(s)\right] \\
Y_\mu(s) &= \sqrt{\frac{2}{\pi s}} \left[\sin\left(s - \frac{2\mu+1}{4}\pi\right) P_\mu(s) + \cos\left(s - \frac{2\mu+1}{4}\pi\right) Q_\mu(s)\right]
\end{aligned}\right\} \\
&\qquad\qquad \text{mit } s = \left.\begin{matrix} +1 \\ +i \end{matrix}\right\} \frac{6}{5} \sqrt[4]{\frac{C_1 k^2}{E}}\, x^{\frac{5}{6}}; \\
&P_\mu(s) = 1 - \frac{\left(\mu^2 - \frac{1^2}{2^2}\right)\left(\mu^2 - \frac{3^2}{2^2}\right)}{2!\,(2s)^2} + \frac{\left(\mu^2 - \frac{1^2}{2^2}\right) \cdots \left(\mu^2 - \frac{7^2}{2^2}\right)}{4!\,(2s)^4} - \cdots; \\
&Q_\mu(s) = \frac{\mu^2 - \frac{1^2}{2^2}}{1!\,(2s)^1} - \frac{\left(\mu^2 - \frac{1^2}{2^2}\right)\left(\mu^2 - \frac{3^2}{2^2}\right)\left(\mu^2 - \frac{5^2}{2^2}\right)}{3!\,(2s)^3} + \cdots; \\
&\qquad\qquad \mu = \frac{3}{5},
\end{aligned}\right\} \tag{45}$$

---

[1]) Nielsen und Schafheitlin, loc. cit. Für einen Argumenten $s = r e^{i\theta}$ sind die Reihen 45) gültig für $-\frac{\pi}{2} < \theta \leqq +\frac{\pi}{2}$. Hier ist $\theta = 0$ bzw. $\theta = +\frac{\pi}{2}$, d. h. im Gültigkeitsbereich.

in welchen die vom Stab konstanter Dicke her vertrauten sin-, cos-, Sin- und Cof-Funktionen in Verbindungen erscheinen. Für die konstante Dicke $\left(\mu = \frac{1}{2}\right)$ brechen die Reihen P_μ und Q_μ von selber ab $\left(P_{\frac{1}{2}} = 1,\ Q_{\frac{1}{2}} = 0\right)$ und man stößt wieder auf die klassische Lösung 40), wogegen die zunächst abgeleiteten Reihen 26) diesen Übergang nicht erkennen ließen.

Weitere Behandlung des Problems wie üblich. Die Eigenschwingungszahl folgt aus der $= 0$ gesetzten Determinante der Koeffizienten der vier Randwertgleichungen.

Die soeben mitgeteilten zwei vollständigen mathematischen Lösungen des vorgelegten Schwingungsproblems eignen sich zwar für die zahlenmäßige Berechnung sehr gut und erlauben, ohne Schwierigkeit jeden konkreten Fall numerisch zu behandeln.

Dagegen erfordern sie einen ziemlich weitgehenden mathematischen Apparat, der für den wiederholten Gebrauch in der Technik unwillkommen ist und ein einfaches, abgekürztes Verfahren wünschen läßt.

Es wird daher zum Schluß noch eine einfache Näherungslösung mitgeteilt, die Verf. für den eigenen praktischen Gebrauch im Maschinenbau abgeleitet hat und die bei anderen analogen technischen Schwingungsproblemen[1]) mit dem Resultat der vollständigen exakten mathematischen Lösung erstaunlich genau übereinstimmende Zahlen liefert.

Einfache Näherungslösung.

Die einfache übliche Differentialgleichung des gebogenen Stabes lautet:

$$E J . \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} = + M_x \qquad 46)$$

(links vom Querschnitt x)

(Abb. 1). Werde irgendein zwischen dem Stabende und dem laufenden Querschnitt x gelegener

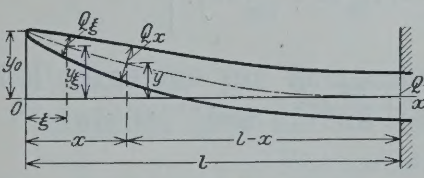


Abb. 1.

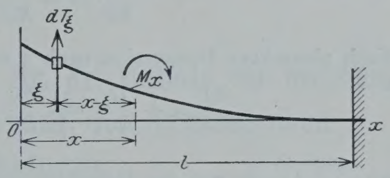


Abb. 2.

Zwischenquerschnitt durch seine Abszisse ξ gekennzeichnet, so ist das biegende Moment an der Stelle x (Abb. 2):

$$M_x = \int_{\xi=0}^{\xi=x} d T_\xi (x - \xi)\,, \qquad 47)$$

unter dT_ξ die elementare, am Stabstück $d\xi$ wirkende d'Alembertsche Trägheitskraft verstanden:

$$d T_\xi = - Q_\xi \, d\xi \, \varrho \frac{\partial^2 y_\xi}{\partial t^2}\,, \qquad 48)$$

wo

$Q_\xi =$ Stabquerschnitt bei der Abszisse ξ,
$y_\xi =$ Ordinate der elastischen Linie „ „ „ ξ,
$\varrho =$ spezifische Masse des Stabmaterials.

In Gl. 48) tritt die vorläufig noch unbekannte, eben gesuchte Funktion y auf; es läßt sich aber zur Berechnung des Biegungsmomentes M_x an Stelle des wahren y mit genügender Genauigkeit ein einfacher Näherungswert verwenden, indem man die elastische Linie zwischen Einspannungs- und Endquerschnitt durch einen Bogen einer gewöhnlichen Parabel ersetzt, mit Gleichung

$$y_\xi = \frac{(l - \xi)^2}{l^2} y_0\,, \qquad 49)$$

wobei y_0 die Ordinate des freien Stabendes ($x = 0$) bedeutet.

---

[1]) Einseitig eingespannter oder beidseitig aufliegender schwingender Stab konstanten Querschnittes mit Einzelmaße im Endquerschnitt oder in der Mitte.

Mit 47), 48) und 49) und

$$Q_\xi = \frac{\pi u_\xi^2}{4} = \frac{\pi}{4}\left(\frac{32\,P}{\pi k_b}\right)^{\frac{2}{3}} \xi^{\frac{2}{3}} = \frac{Q_1}{l^{\frac{2}{3}}}\,\xi^{\frac{2}{3}}$$

Q_1 = Querschnitt an der Einspannstelle $x = l$

wird sodann:

$$\left.\begin{aligned} M_x &= \int\limits_{\xi=0}^{\xi=x}\left(-\frac{Q_1}{l^{\frac{2}{3}}}\,\xi^{\frac{2}{3}}\,d\xi\,\varrho\right)\frac{(l-\xi)^2}{l^2}\,\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}\,(x-\xi),\\ &= -\frac{Q_1}{l^{\frac{2}{3}}}\,\frac{\varrho}{l^2}\,\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}\left[x\int\limits_0^x\left(l^2\xi^{\frac{2}{3}} - 2\,l\,\xi^{\frac{5}{3}} + \xi^{\frac{8}{3}}\right)d\xi - \int\limits_0^x\left(l^2\xi^{\frac{5}{3}} - 2\,l\,\xi^{\frac{8}{3}} + \xi^{\frac{11}{3}}\right)d\xi\right]\\ &= -\frac{Q_1}{l^{\frac{2}{3}}}\,\frac{\varrho}{l^2}\,\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}\left(l^2\,\frac{9}{40}\,x^{\frac{8}{3}} - 2\,l\,\frac{9}{88}\,x^{\frac{11}{3}} + \frac{9}{154}\,x^{\frac{14}{3}}\right). \end{aligned}\right\} \quad 50)$$

Unter Einführung von 50) und des veränderlichen Trägheitsmomentes

$$J_x = \frac{\pi}{64}\,u^4 = \frac{\pi}{64}\left(\frac{32\,P}{\pi k_b}\right)^{\frac{4}{3}} x^{\frac{4}{3}} = \frac{J_1}{l^{\frac{4}{3}}}\,x^{\frac{4}{3}}$$

J_1 = Trägheitsmoment an der Einspannstelle $x = l$

geht die Biegungsgleichung 46) über in:

$$\left.\begin{aligned} \frac{E J_1}{l^{\frac{4}{3}}}\,x^{\frac{4}{3}}\,\frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &= -\frac{Q_1}{l^{\frac{2}{3}}}\,\frac{\varrho}{l^2}\,\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}\left(l^2\,\frac{9}{40}\,x^{\frac{8}{3}} - 2\,l\,\frac{9}{88}\,x^{\frac{11}{3}} + \frac{9}{154}\,x^{\frac{14}{3}}\right),\\ \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} &= -\frac{Q_1}{E J_1}\,\frac{\varrho}{l^{\frac{4}{3}}}\,\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}\left(l^2\,\frac{9}{40}\,x^{\frac{4}{3}} - 2\,l\,\frac{9}{88}\,x^{\frac{7}{3}} + \frac{9}{154}\,x^{\frac{10}{3}}\right). \end{aligned}\right\} \quad 51)$$

Nach einmaliger Integration nach x ergibt sich:

$$\frac{\partial y}{\partial x} = +\frac{Q_1}{E J_1}\,\frac{\varrho}{l^{\frac{4}{3}}}\,\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}\left(\frac{389}{8008}\,l^{\frac{13}{3}} - \frac{27}{280}\,l^2 x^{\frac{7}{3}} + \frac{54}{880}\,l\,x^{\frac{10}{3}} - \frac{27}{2002}\,x^{\frac{13}{3}}\right), \quad 52)$$

wo $\frac{389}{8008}\,l^{\frac{13}{3}}$ die aus der Grenzbedingung:

horizontale Tangente, $\frac{\partial y}{\partial x} = 0$ für $x = l$

sich ermittelnde Integrationskonstante ist.

Eine nochmalige Integration führt zu

$$y = \frac{Q_1}{E J_1}\,\frac{\varrho}{l^{\frac{4}{3}}}\,\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}\left(-\frac{251}{8008}\,l^{\frac{16}{3}} + \frac{389}{8008}\,l^{\frac{13}{3}}\,x - \frac{81}{2800}\,l^2 x^{\frac{10}{3}} + \frac{162}{11\,440}\,l\,x^{\frac{13}{3}} - \frac{81}{32\,032}\,x^{\frac{16}{3}}\right), \quad 53)$$

wobei die neue Integrationskonstante $-\frac{251}{8008}\,l^{\frac{16}{3}}$ durch die zweite Grenzbedingung bestimmt wird.

Einspannung, $y = 0$ für $x = l$.

Für $x = 0$ erhält man aus 53) die Amplitude des freien Stabendes zu

$$y_0 = \frac{Q_1}{E J_1}\,\frac{\varrho}{l^{\frac{4}{3}}}\,\frac{\partial^2 y^2}{\partial t^2}\left(-\frac{269}{8008}\,l^{\frac{16}{3}}\right) = \text{approximativ} \simeq -\frac{Q_1}{E J_1}\,\varrho\,\frac{\partial^2 y_0}{\partial t^2}\,\frac{1}{32}\cdot l^4. \quad 54)$$

Gl. 54) stellt aber eine harmonische Schwingungsgleichung für y_0 dar, welche durch

$$y_0 = a\cos\omega t + b\sin\omega t \quad 55)$$

$$\omega = \frac{5{,}65}{l^2}\sqrt{\frac{E J_1}{\varrho Q_1}}$$

integriert wird.

Aus 55) folgt dann die Eigenschwingungszahl des Stabes:

$$n = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi}\cdot\frac{5{,}5}{l^2}\sqrt{\frac{E J_1}{\varrho Q_1}}\ \text{Schw./sec.} \quad 56)$$

Hiermit ist die Aufgabe vollständig gelöst. Für den in Abb. 3 dargestellten, nach der kubischen Parabel profilierten runden Stab mit der Länge $l = 7{,}0$ cm, den Durchmesser an der Einspannstelle $u_1 = 0{,}81$ cm, der Dichte $\varrho = \frac{0{,}00785}{981} \frac{\text{kg/sec}^2}{\text{cm}^4}$, dem Elastizitätsmodul $E = 2\,100\,000$ kg/cm², ist:

$$\text{Trägheitsmoment an der Einspannstelle } J_1 = \frac{\pi \times \overline{0{,}81}^4}{64} = 0{,}0211 \text{ cm}^4.$$

$$\text{Querschnitt} \quad „ \quad „ \quad „ \quad Q_1 = \frac{\pi \times \overline{0{,}81}^2}{4} = 0{,}515 \text{ cm}^2.$$

Somit Eigenschwingungszahl nach Gl. 56):

$$n = \frac{1}{2\pi} \times \frac{5{,}65}{\overline{7{,}0}^2} \sqrt{\frac{2\,100\,000 \times 0{,}0211}{\frac{0{,}00785}{981} \times 0{,}511}} = 1910 \text{ Schw./sec}.$$

Für den einseitig eingespannten, frei schwingenden Rundstab konstanter Dicke mit gleichem Querschnitt an der Einspannung erhielte man aus der 56) entsprechenden bekannten Formel

$$n = \frac{1}{2\pi} \times \frac{3{,}5}{l^2} \sqrt{\frac{E J_1}{\varrho Q_1}} = 1180 \text{ Schw./sec}.$$

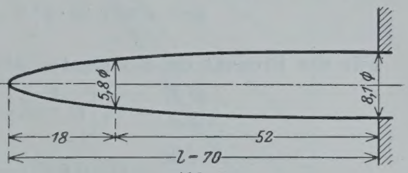


Abb. 3.

Man ersieht, daß die Verjüngung die kritische Schwingungszahl, wie erwünscht, erhöht.

Es leuchtet ein, daß für praktische Berechnungen die einfache Näherungsformel 56) hinsichtlich Kürze den genauen mathematischen Formeln 26), 27) bzw. 43), 44), 45) weitaus überlegen ist.

Schaffhausen (Schweiz), März 1928.

Stellungnahme zur Entgegnung von Herrn Dr. Fr. Dubois zu meinem Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynamischen Eigenschaften von Indikatoren.

Von

Dr. **O. Holm** in Hamburg.

Die mathematischen Einwände von Herrn Dr. Dubois unter I und II sind richtig. Beim Differenzieren der Gl. 24) habe ich aus der eckigen Klammer versehentlich ein w ausgeklammert, das nur zu einem der beiden Glieder als Faktor gehört. Hierdurch ergibt sich dann zwangläufig und folgerichtig der fehlerhafte Ansatz. Die Endergebnisse meiner Arbeit werden hierdurch aber nicht hinfällig, da sich die Fehler zufällig bis auf eine ganz geringfügige Differenz gegenseitig aufheben. Das ist auch der Grund dafür, daß mir das Versehen entgangen ist. Gl. 64) auf S. 23 stellt das Endergebnis der Stabfederuntersuchungen dar. Sie lautet:

$$n = \frac{0{,}25\, k_b}{y_0 \sqrt{E \varrho}}. \tag{64}$$

Statt dessen müßte es genauer heißen:

$$n = \frac{0{,}258\, k_b}{y_0 \sqrt{E \cdot \varrho}},$$

was ich hiermit berichtige.

Die von Herrn Dr. Dubois angegebene Näherungslösung mit einer Parabel ist meiner Ansicht nach nicht so sehr genau. Im vorliegenden Fall beläuft sich der Fehler z. B. immerhin auf etwa 2⁰/₀, wie ich im folgenden zeigen werde. In sehr vielen Fällen wird diese Genauigkeit durchaus genügen. Ich erwähne die Tatsache deshalb nur, weil ein sehr rohes, wenig zeitraubendes zeichnerisches Verfahren schon genauere Ergebnisse zeitigt.

Die Näherungsparabel unterscheidet sich von der wahren Schwingungsform dadurch, daß bei ihr am Ende der Feder die Krümmung nicht verschwindet. Dieser Grenzbedingung kann man

außer den übrigen gerecht werden, wenn man von einer passend gewählten Sinuslinie als Näherungskurve ausgeht.

Ansatz:

$$y = a\left(1 - \sin\frac{\pi x}{2l}\right). \qquad 1)$$

Zunächst soll die Lösung mit diesem Ansatz rechnerisch gesucht werden. Zu dem Zwecke entwickeln wir die Sinusfunktion in eine Reihe:

$$y = a\left(1 - \sin\frac{\pi x}{2l}\right) = \sim a\left[1 - \frac{\pi x}{2l} + \frac{1}{6}\left(\frac{\pi x}{2l}\right)^3 - \frac{1}{120}\left(\frac{\pi x}{2l}\right)^5\right]$$

$$= a\left[1 - 1{,}57\,\frac{x}{l} + 0{,}65\left(\frac{x}{l}\right)^3 - 0{,}08\left(\frac{x}{l}\right)^5\right]. \qquad 2)$$

In Übereinstimmung mit den von Herrn Dr. Dubois gegebenen Entwicklungen erzielt man dann die dynamische Belastung pro Längeneinheit:

$$p = \pi^3 n^2 \varrho\, u_0^2 \cdot a\left[1 - 1{,}57\,\frac{x}{l} + 0{,}65\left(\frac{x}{l}\right)^3 - 0{,}08\left(\frac{x}{l}\right)^5\right]\left(\frac{x}{l}\right)^{\frac{2}{3}} = \frac{d^2 M}{dx^2}. \qquad 3)$$

Für das Produkt der Konstanten $\pi^3 n^2 \varrho\, u_0^2\, a$ setzen wir zunächst der Einfachheit halber C_1:

$$\frac{d^2 M}{dx^2} = C_1\left[l^{-\frac{2}{3}} x^{\frac{2}{3}} - 1{,}57\, l^{-\frac{5}{3}} x^{\frac{5}{3}} + 0{,}65\, l^{-\frac{11}{3}} x^{\frac{11}{3}} - 0{,}08\, l^{-\frac{17}{3}} x^{\frac{17}{3}}\right], \qquad 4)$$

$$\frac{dM}{dx} = C_1\left[0{,}6\, l^{-\frac{2}{3}} x^{\frac{5}{3}} - 0{,}589\, l^{-\frac{5}{3}} x^{\frac{8}{3}} + 0{,}139\, l^{-\frac{11}{3}} x^{\frac{14}{3}} - 0{,}012\, l^{-\frac{17}{3}} x^{\frac{20}{3}}\right]. \qquad 5)$$

Die Integrationskonstante kann man hier fortlassen, da am Ende der Feder der Schub verschwindet.

$$M = C_1\left[0{,}225\, l^{-\frac{2}{3}} x^{\frac{8}{3}} - 0{,}161\, l^{-\frac{5}{3}} x^{\frac{11}{3}} + 0{,}025\, l^{-\frac{11}{3}} x^{\frac{17}{3}} - 0{,}002\, l^{-\frac{17}{3}} x^{\frac{23}{3}}\right]. \qquad 6)$$

Da das Moment am Ende verschwindet, fällt auch hier die Integrationskonstante fort.

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{E \cdot s} = \frac{64\, C_1\left[0{,}225\, l^{-\frac{2}{3}} x^{\frac{8}{3}} - 0{,}161\, l^{-\frac{5}{3}} x^{\frac{11}{3}} + 0{,}025\, l^{-\frac{11}{3}} x^{\frac{17}{3}} - 0{,}002\, l^{-\frac{17}{3}} x^{\frac{23}{3}}\right]}{\pi\, u_0^4 \cdot E\left(\frac{x}{l}\right)^{\frac{4}{3}}}$$

$$= C_3\left[0{,}0225\, l^{\frac{2}{3}} x^{\frac{4}{3}} - 0{,}161\, l^{-\frac{1}{3}} x^{\frac{7}{3}} + 0{,}025\, l^{-\frac{7}{3}} x^{\frac{13}{3}} - 0{,}002\, l^{-\frac{13}{3}} x^{\frac{19}{3}}\right], \qquad 7)$$

$$\frac{dy}{dx} = C_3\left[0{,}0965\, l^{\frac{2}{3}} x^{\frac{7}{3}} - 0{,}0483\, l^{-\frac{1}{3}} x^{\frac{10}{3}} + 0{,}0047\, l^{-\frac{7}{3}} x^{\frac{16}{3}} - 0{,}0003\, l^{-\frac{13}{3}} x^{\frac{22}{3}} + C_4\right] \qquad 8)$$

für $x = l$: $\frac{dy}{dx} = 0$. Daraus $C_4 = -0{,}0526\, l^3$.

$$y = C_3\left[0{,}02895\, l^{\frac{2}{3}} x^{\frac{10}{3}} - 0{,}01111\, l^{-\frac{1}{3}} x^{\frac{13}{3}} + 0{,}00074\, l^{-\frac{7}{3}} x^{\frac{19}{3}} - 0{,}00004\, l^{-\frac{13}{3}} x^{\frac{25}{3}} - 0{,}0526\, l^3 x + C_5\right]$$
$$= a\left[1 - 1{,}57\, l^{-1} x + 0{,}65\, l^{-3} x^3 - 0{,}08\, l^{-5} x^5\right] \text{ (siehe Gl. 2!)} \qquad 9)$$

für $x = l$: $y = 0$. Daraus $C_5 = 0{,}03406$.

Nach Einsetzen der Werte für C_3 und C_5 ergibt sich aus Gl. 9):

$$n = \frac{n_0}{8\pi}\sqrt{\frac{E\left[1 - 1{,}57\, l^{-1} x + 0{,}65\, l^{-3} x^3 - 0{,}08\, l^{-5} x^5\right]}{\varrho\left[0{,}02895\, l^{\frac{2}{3}} x^{\frac{10}{3}} - 0{,}01111\, l^{-\frac{1}{3}} x^{\frac{13}{3}} + 0{,}00074\, l^{-\frac{7}{3}} x^{\frac{19}{3}} - 0{,}00004\, l^{-\frac{13}{3}} x^{\frac{25}{3}} - 0{,}0526\, l^3 x + 0{,}03406\, l^4\right]}}.$$

Für alle Werte von x von 0 bis l muß der Bruch unter dem Wurzelzeichen konstant bleiben. Das ist auch mit sehr großer Annäherung der Fall. Die Ausrechnung liefert den Wert 29,4. Einsetzen in Gl. 10) und mit Gl. 63) des Originals:

$$n = \frac{u_0}{8\pi l^2}\sqrt{\frac{29{,}4 \cdot E}{\varrho}} = \frac{0{,}215\, u_0}{l^2}\sqrt{\frac{E}{\varrho}} = \frac{0{,}258\, k_b}{y_0\sqrt{E \cdot \varrho}}. \qquad 11)$$

Anwendung der Formel auf das von Herrn Dr. Dubois gewählte Beispiel:

$$u_0 = 0{,}81 \text{ cm}; \quad l = 7 \text{ cm}; \quad \varrho = \frac{0{,}00785}{981}\,\frac{\text{kg/sek}^2}{\text{cm}^4}; \quad E = 2\,100\,000 \text{ kg/cm}^2.$$

$$n = \frac{0{,}81}{8\pi \cdot 7^2}\sqrt{\frac{29{,}4 \cdot 2\,100\,000 \cdot 981}{0{,}00785}} = 1824 \text{ Schwingungen} \qquad 12)$$

pro Sekunde gegenüber 1860 aus dem Ansatz mit der Näherungsparabel.

Geht man in gleicher Weise, wie hier geschehen, von der Sinuskurve als Näherungskurve aus und ermittelt zeichnerisch die Durchbiegung der Feder in bekannter Weise nach dem Mohr-

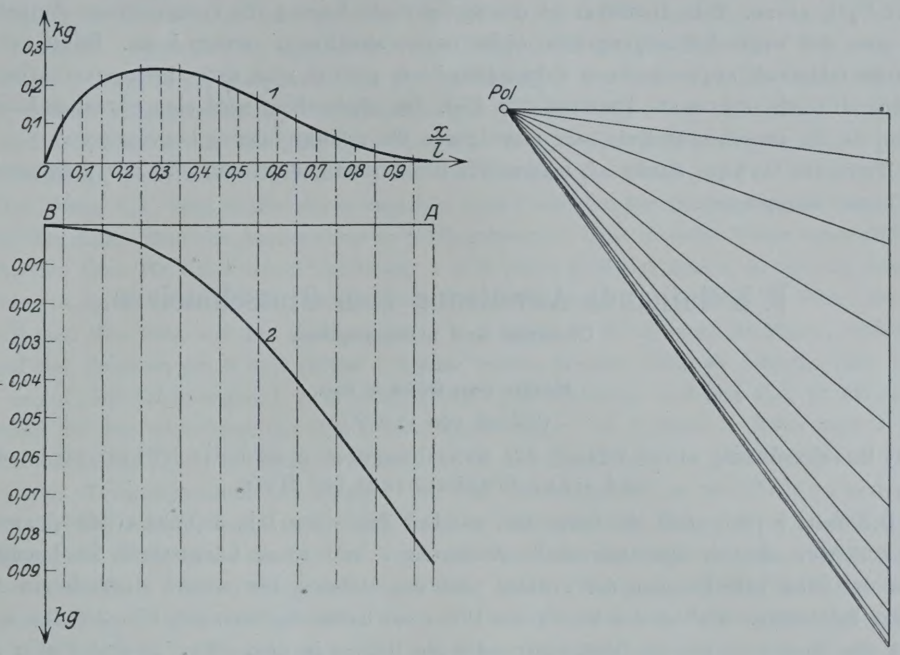


Abb. 1.
1 Belastungskurve. 2 Momentenkurve.

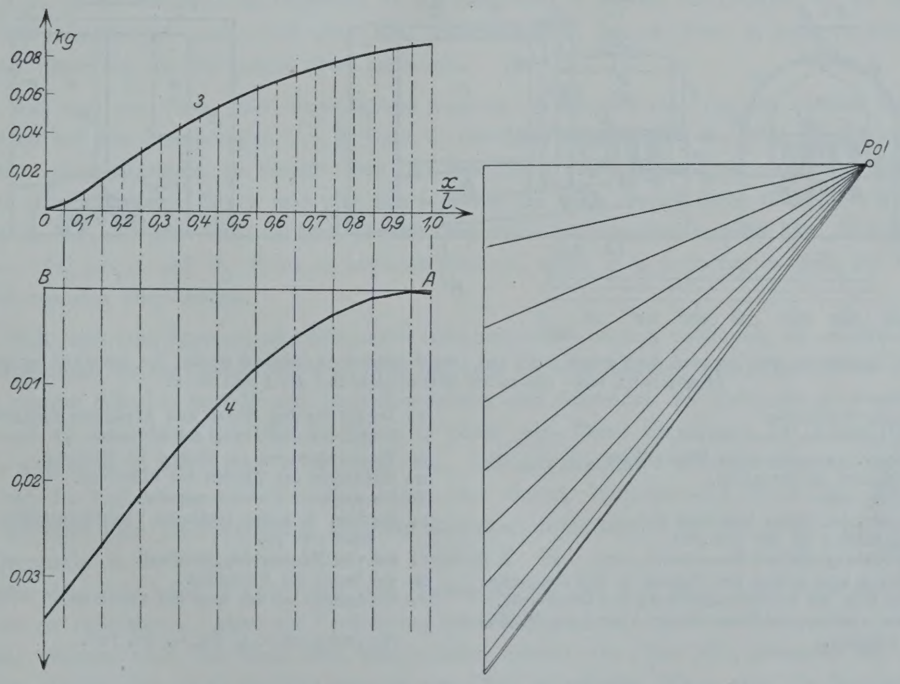


Abb. 2.
3 Kurve der reduzierten Momente $\frac{M_b \cdot J_0}{J}$. 4 Elastische Linie.

schen Verfahren (Kräftepläne und Seilkurven), so liefert schon eine ganz grobe Flächenstreifeneinteilung (s. Abb. 1 und 2) ein recht genaues Ergebnis. Die Flächenstreifen brauchen nicht planimetriert zu werden, sondern man arbeitet durchaus hinreichend genau, wenn man die mittleren

Höhen (gestrichelte Linien) in die Kräftepläne überträgt. Diese zeichnerische Lösung kann man in einer halben Stunde durchführen. Im vorliegenden Fall liefert sie 1815 Schwingungen, ist also bis auf $^1/_2\,^0/_0$ genau. Sehr fruchtbar ist die zeichnerische Lösung für kompliziertere Aufgaben, bei denen man die wahre Schwingungsform nicht immer annähernd erraten kann. Selbst auf Grund einer sehr fehlerhaft angenommenen Schwingungsform gelangt man unter geringstem Arbeits- und Zeitaufwand durch sogenannte Iteration zum Ziel. Im allgemeinen wird eine einmalige Korrektion genügen, da die Zwischenresultate sehr rasch gegen die richtige Lösung konvergieren.

Herrn Dr. Dubois danke ich bestens für die Berichtigungen und die mir gegebenen wertvollen neuen Anregungen.

P. L. Guinands Anweisung zum Glasschmelzen.

Übersetzt und herausgegeben

von

Moritz von Rohr in Jena.

(Schluß von S. 559.)

[140] Beschreibung eines Ofens, die Scheibenformen und die Rührer zu brennen, und eines Trockenofens für Holz.

Die Tafel 9 [xii] stellt die Öfen dar, nämlich Zeichnung 1 u. 2 [links u. Mitte] zwei senkrechte Schnitte, nämlich den Querschnitt Zeichnung 1 und einen Längsschnitt Zeichnung 2. Es ist das der Ofen zum Brennen der Formen und der Rührer. Der untere Maßstab gilt für alle Teile der Zeichnung. *a'a'* ist das Innere des Ofens auf beiden Zeichnungen 1 u. 2 [links u. Mitte], *b'b'* ist der Heizboden für die Gießformen oder die Rührer in dem Ofen. *cc* sind Pfeiler für den

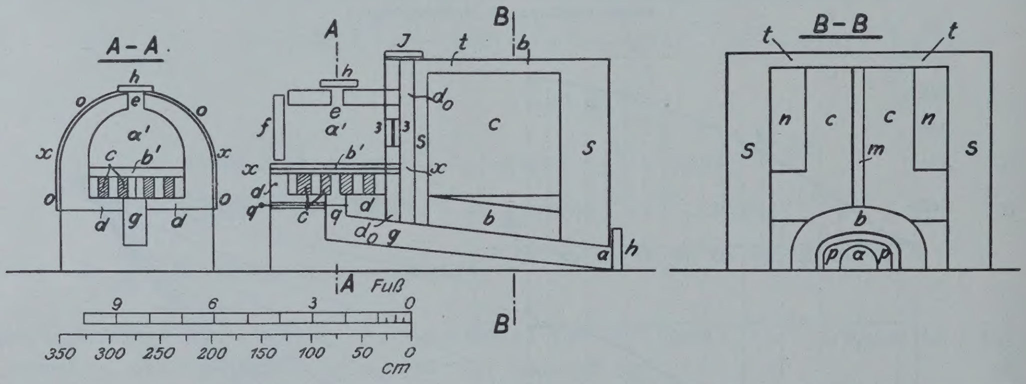


Fig. xii. Doppelofen zum Brennen der Formen links und zum Holztrocknen (Dörren) rechts. In der Mitte der senkrechte Längsschnitt, links und rechts Querschnitte bei *A—A* und *B—B*.

ag innerer Heizstollen
a'a' das Innere des Brennofens.
bb äußerer, *ag* umfassender Heizstollen.
b'b' Heizboden im Brennofen.
cc Pfeiler dafür.
dd unterer, die Pfeiler tragender Boden.
d_0 Rauchabzug für den Dörrofen.
e Rauchabzug für den Brennofen.
33 Öffnung zum Einlaß der Flamme in den Brennofen.
f Verschluß der Einführungsöffnung des Brennofens.
gg Ende des inneren Heizstollens, wohin die Flammen schlagen.
hh Deckel für den Einlaß und Abzug des Brennofens.
J Deckel für den Abzug des Dörrofens.
m Trennungsmauer aus Ziegeln im Dörrofen.
nn Eisentüren der Hälften des Dörrofens.
oo Eisenreifen um den Brennofen.
qq eiserner, in Nuten laufender Verschlußschieber für das Ende von *gg*.
ss die vier Mauern des Dörrofens.
tt die Decke des Dörrofens.
xx Eisenstange an der Seite des Brennofens.

Hauptsächlich S. S. (81, 84, 101, 140).

Heizboden *b'b'*. *dd* ist der untere Heizboden, auf dem die Pfeiler *cc* stehen. *ee* ist der Abzug des Ofens. *f* ist der Verschluß der Ofenöffnung, durch die man die Formen und die Rührer schiebt. *gg* ist der Kanal, in den die Flammen schlagen[1]), [141] wenn sie nach dem Ofen zwischen den Pfeilern *cc* hindurchtreten, und von da durch die Löcher im Heizboden *b'b'*, um die Formen aller-

[1]) Die Flammen treten in denselben Ofen auch durch eine bei *3* angebrachte Öffnung. Hier wird der obere Teil des Ofens und seine Formen geheizt.

seits zu umspülen und dann in den Innenraum des Ofens *a'a'* zu gelangen. Der Brandherd für das Feuer sollte am Ende der Wölbung *aa* auf den Zeichnungen 3 u. 4 [Mitte u. rechts] liegen. Die Wölbung *bb* derselben Zeichnungen dient zur Beheizung des Ofeninnern *cc* ebenfalls auf 3 u. 4 [Mitte u. rechts]. Diese Zeichnungen stellen den Trockenofen für das Holz dar. Und zwar ist die Zeichnung 4 [rechts] ein Querschnitt, dem der Zeichnung 1 [links] für den Brennofen der Formen [örtlich] gerade entgegengesetzt. Und Zeichnung 3 [Mitte] stellt einen Längsschnitt durch den Dörr- und Trockenofen für das Holz dar. $d_0 d_0$ auf den /: selben :/ Zeichnungen 3 u. 2 [Mitte] ist der Rauchabzug, wenn man den Ofen *a'a'* auf den Zeichnungen 1 u. 2 [links u. Mitte] nicht heizen will. Der Abzug $d_0 d_0$ liegt in der Mauer zwischen dem Brennofen für die Formen und dem Trockenofen für das Holz. Sind die beiden Öfen so [142] gebaut, so heizt dasselbe Feuer beide Öfen. Will man nur den Ofen für die Formen Zeichnung 1 u. 2 [links u. Mitte] heizen, so braucht man allein den Abzug $d_0 d_0$ zu schließen und den *ee* auf die Zeichnungen 1 u. 2 [links u. Mitte] zu öffnen. Und will man den Ofen auf den Zeichnungen 1 u. 2 [links u. Mitte] nicht betätigen, während der Ofen auf den Zeichnungen 3 u. 4 [Mitte u. rechts] weiter brennen soll, so braucht man nur den Abzug *ee* auf den Zeichnungen 1 u. 2 [links u. Mitte] zu schließen und den $d_0 d_0$ zu öffnen. *h* ist der Deckel für den Ofenabzug auf den beiden Zeichnungen 1 u. 2 [links u. Mitte] und *J* für den auf den Zeichnungen 3 u. 4 [Mitte u. rechts]. *h* ist der Verschluß des Brandherds beider Öfen. *mm* ist eine Trennungsmauer aus Ziegeln, um den Holzbrennofen in zwei Teile zu zerlegen, zu dem Zweck, den einen Ofenteil früher mit Holz zu beschicken als den andern, so daß man eine Halbfüllung des Ofens schon trocken hat, während das Holz der andern noch geröstet wird. *nn* sind zwei Eisentüren [143] zu völligem Verschluß der beiden Öffnungen, durch die die Holzscheite in die beiden halben Trockenöfen geworfen werden. Den Ofen auf den Zeichnungen 1 u. 2 [links u. Mitte] — es ist derselbe Ofen — muß man mit einem Eisenreifen umgeben, der am Ausgang des Ofens 5 Zoll [$= 13^1/_2$ cm] unterhalb des Auslasses bleibt; man sieht ihn bei *oo* auf der Zeichnung 1 [links]. *pp* ist die Öffnung des Gewölbes *bb* auf Zeichnung 4 [rechts] im Lichten. Q_0 ist die Mündung des Gewölbes *bb* und *g* auf allen drei Zeichnungen 2, 3 u. 4 [Mitte u. rechts], dort macht man das Feuer an, um die beiden Öfen zu heizen.

Will man eine Form oder einen Rührer brennen, so braucht man ihn nur auf den Heizboden *bb* mitten auf den Zeichnungen 1 u. 2 [links u. Mitte] zu bringen und den Ofen zu schließen. Ist der Ofen schon angeheizt, so braucht man nur den Abzug *ee* ein ganz klein wenig zu öffnen, und nach 2 oder 3 Stunden öffnet man denselben Abzug ein klein wenig mehr und 2 bis 3 Stunden danach noch mehr; man fährt so fort, bis der Ofen seine höchste Glut erreicht hat. Man muß dies alles so [144] leiten, daß die Form in höchster Glut ist, wenn es sich darum handelt, die Form in den Schmelzofen einzubringen.

Will man eine Form in den Brennofen schieben oder aus ihm entfernen, so unterbricht man die Verbindung des Heizkanals mit dem Ofen mit dem eisernen Schieber *qq* auf Zeichnung 2 [Mitte]. Dieser eiserne Schieber besteht aus einer Eisenplatte und schneidet die Verbindung zwischen dem Heizkanal *ag* und dem Ofen der Zeichnung 2 [Mitte] ab. Diese Eisenplatte hat einen Handgriff, um sie wagerecht in den Nuten so vorzuschieben, daß sich die Platte in ihnen wagrecht verschieben läßt und die Verbindung zwischen Kanal und Ofen trennt. Befinden sich Form oder Rührer im Ofen, so öffnet man die Verbindung mit dem Heizkanal völlig mittels der Eisenplatte *qq* und erzielt die Hitzegrade in dem Ofen mit Hilfe des Deckels *h*. Hat man Form oder Rührer entfernt, so läßt man den Ofen offen, bis er nicht [145] heißer ist, als daß man seine Hand daran halten kann, ohne sie zu verbrennen. Aber die Verbindung des Heizkanals *ag* mit dem Ofen sollte geschlossen bleiben, während man den Ofen kühl werden läßt. Sobald der Ofen kühl geworden ist, so setzt man von neuem eine Form ein und schließt den Ofen vollständig, öffnet aber die Verbindung *qq* zwischen Heizkanal und Ofen ganz ebenso wie allmählich den Abzug *ee*, wie es auf S. 143 beschrieben war, um langsam und allmählich der Form und dem Ofen eine größere Hitze zu geben.

Die 4 Mauern *ss*, die den Ofen zum Holztrocknen einschließen, werden aus Steinen und Mörtel aufgemauert, aber der Abzug $d_0 d_0$ muß ebenso aus Fliesen hergestellt werden wie die Decke *tt* des Trockenofens auf den Zeichnungen 3 u. 4 [Mitte u. rechts]. Auch das Gewölbe *bb*

muß ebenfalls aus dem roten Ton von Goudebat hergestellt werden[1]). /: Man muß eine Schicht /: von Tonerde aus Morteau zwischen die Fliesen bringen, die die innere Wölbung von *a* bis :/ auf Zeichnung 4 [rechts] bis zu der Heizfläche *dd* auf Zeichnung 1 u. 2 [links u. Mitte]. [146] Denn man muß daselbst von diesem Ton aus Morteau mindestens einen Zoll [= $2^3/_4$ cm] an Dicke anbringen, weil er eine größere Hitze aushält als der rote. Längs dem ganzen Gewölbe ist die Hitze am stärksten, aber die Heizfläche kann allein aus rotem Ton hergestellt werden. Das ganze Innere des Brennofens für die Formen kann in dem roten Ton von Goudebat ausgeführt werden. Jeden Deckel muß man mit einem Eisenring umgeben. Man hat auch eine Eisenstange längs der Seiten des Ofens nötig von *x* nach *x* auf Zeichnung 2 [Mitte.] Ihr eines Ende ruht in der Mauer für den Abzug $d_0 d_0$, ihr anderes wird in den Eisenreif *oo* eingefügt, wie man es bei $x_0 x_0$ auf Zeichnung 1 [links] erkennt. Denn diese stellt ja einen Querschnitt des in Zeichnung 2 [Mitte] dargestellten Ofens vor. Man muß, wie gesagt, eine Eisenstange auf jeder Ofenseite anbringen. Sie verhindern den Ofen, unter der Hitze beim Heizen auseinanderzugehen [147].

Die Beschreibung eines Kühlofens für die Formen und die Stücke des Glases, die man hat auslaufen lassen.

Zeichnung 8 [xiii] stellt sechs Kühlöfen dar; sie haben ihre sechs Gewölbe bei *a*. Sie sind alle sechs gewölbt und sind ebenso lang wie breit. Die Ausmaße kann man nach dem Maßstab am Fuße der Zeichnung entnehmen. Ein Ofen steht über dem andern, und in jedem Ofen tritt ein Auslaß *oo* derart durch die Mitte der Wölbung, daß der des unteren in den Ofen darüber eintritt, sonst sind die Öfen voneinander getrennt, und man muß also stets von unten mit dem Heizen beginnen; der Rauch macht hierbei nichts aus. Man setzt einen Deckel auf jeden Auslaß eines oberen Ofens, und die Formen [darin] dienen als Deckel für den Auslaß des unteren Ofens. Man braucht einen Deckel [148] für jeden Ofen, um das Ende des Auslasses aus jeder Wölbung *a* völlig abzuschließen. Übrigens bedarf man gewisser Absätze in der ganzen Länge vor den Öfen. Man sehe bei *cc*, wo diese Absätze vor den Ofenreihen dargestellt sind. Die Zeichnung ist übrigens unrichtig, denn die Absätze sollten sich über die ganze Länge vor den Öfen, also von *cc* nach *dd*, erstrecken. Auf diese Absätze *cc* legt man die Abschlußdeckel nieder. Sie müssen alle in einen Eisenring eingeschlossen sein. Diese Öfen heizt man wie die Backöfen. Über den Auslässen kann man Abzugrohre anbringen, um den Rauch nach Belieben wegzuleiten. Diese Öfen können [149] aus dem roten Ton von Goudebat aufgemauert werden, d. h. aus Fliesen je von 3 Zoll [= 8 cm] Dicke. Ihre Länge und Breite kann man nach der Zweckmäßigkeit wählen. Will man Formen mit Glas, das zum letztenmal erweicht war, einschieben, so muß man die Öfen, in die man das gekühlte Glas einbringen will, bis auf rotbraune Glut bringen. Man muß mit den drei unteren Öfen anfangen, dann die mittlere[2]) Reihe und schließlich die oberen herannehmen. Jeden Ofen muß man, wenn man die Form eingeschoben hat, gut abdichten und verschmieren. [150 ist leergelassen].

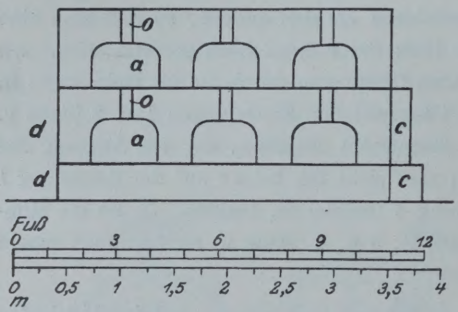


Fig. xiii. Sechsteiliger Brennofen für Deckel und Formen.
aa Innenräume der Öfen.
cc Andeutung vorspringender, an der ganzen Breite der Anlage bis *dd* entlang laufender Absätze zum Ablegen der Deckel für die Ofenabzüge.
dd s. unter *cc*.
oo Abzüge der Öfen.
Hauptsächlich S. (74, 80, 88, 97 ff., 101, 147).

Öfen mit und ohne Schornstein, Gründe für die Mängel des alten vielfachen Ofens].

[151] Ich gebe die Gründe an, warum der Ofen, den ich nach den Zeichnungen auf den Tafeln 3, 4 u. 5 [ii, iii, iv] hergestellt habe, nicht genug Hitze gab. Das geschah deswegen, weil der lange Schornstein, den ich dort vorgesehen hatte, zu sehr zog, denn er ließ die Flammen zu

---

[1]) Es muß für die Wölbung und den Heizkanal bei *a* auf den Zeichnungen 3 u. 4 [xi] Mitte u. rechts] Ton von Morteau oder von Lengnau her.

[2]) [Hier scheint ein Gedankensprung vorzuliegen. v. R.].

rasch hindurchziehen. Diese Flammen schlugen nur mit gewaltiger Schnelle in den Schmelz- und in den Dörrofen hinein, umspülten infolgedessen sein Inneres nicht, sondern stürmten unmittelbar von der Herdfläche nach dem Ofenabzug, ohne sich von ihrem kürzesten Wege nach den Auslässen zu entfernen. Wenn ich den Auslaß aus diesem Ofen verschloß, so brannte das Holz nicht schnell genug weg, weil kein ausreichender Höhenunterschied zwischen der Feuerstelle und dem Gewölbe vorhanden war. Dieser betrug eben nur 19 bis 20 Zoll [= 51 bis 54 cm], und das genügt nicht, um den Ofen die Luft schnell genug einziehen zu lassen, so daß [152] das Holz schnell genug verbrennt, um den höchsten Hitzegrad zu erzielen, wie man ihn eben herbeiführen muß, wenn man gut schmelzen und blasenfreies Glas erhalten will. Denn nur dann ist das Glas blasenfrei, wenn es sehr stark erhitzt wurde, nachdem der Satz völlig verflüssigt worden war. Um diesen Hitzegrad zu erreichen, muß das Ofeninnere so vollkommen wie möglich einer Kugel nahekommen, und sein Gewölbe muß mindestens $4^1/_2$ Fuß [= 1,45 m] über der Feuerstelle des Ofens haben [1]). Macht man ihn höher, so braucht man mehr Holz, um ihn anzuheizen und ihn auf diesem Hitzegrad zu erhalten. Macht man das Innere des Ofens zu weit, so braucht man stets mehr Holz, um ihn anzuheizen und ihn auf dem Hitzegrade zu erhalten, den man geben will. Aber je größer das Ofeninnere ist, d. h. je mehr es in jeder Richtung mißt, desto höher ist der Hitzegrad. Denn wenn man Holz genug verfeuert, daß die Flammen voll aus den Auslässen schlagen [153], denn die Öffnungen sind die Schornsteine des Ofens, und je mehr es solcher Ausgänge von großer Öffnung gibt, um so mehr braucht man Feuerstellen von großem Ausmaß und immer auch eine größere Menge von ... [2]). Mein erster Schmelzofen hatte nur 3 Fuß [= 97 cm] im Lichten an Durchmesser und 4 Fuß und einen halben [1,45 m] lichte Höhe im Innern. In diesem Innern gab es eine bogengestützte Stelle oder ein Gewölbe, worauf die Häfen stehen sollten. Ich setzte nur einen Hafen in den Ofen, er stand in der Mitte des Ofens und hatte 16 Zoll [= 43 cm] Durchmesser und einen Fuß [= $32^1/_2$ cm] Höhe, und zwar nahm das Gewölbe, auf dem der Hafen stand, etwa den dritten Teil der lichten Höhe des Ofeninnern ein. Eine Toise [= $3^3/_4$ m^3] sehr trockenen Buchenholzes genügte zum Beheizen des Ofens und zu einer Schmelze von sehr gut verflüssigtem und blasenfreiem Glas. Macht man den Ofen viel größer, so muß man auch einen viel größeren Hafen einsetzen oder zwei oder drei kleinere. Schließlich, da ja das Innere des Ofens [154] viel größer ausfällt, denn zuviel freier Raum seitlich neben der Wandung des Hafens läßt nur mehr Holz verbrennen, denn diesen ganzen freien Raum müssen die Flammen erfüllen, wenn die größte Hitze erreicht werden soll, gleichgültig ob der Ofen groß oder klein ist. Das Gewölbe, d. h. die Seiten des Gewölbes oder die Wände des Ofens, wo man die Holzscheite hineinschiebt, dürfen voneinander nicht zu weit entfernt sein. Denn die Holzscheite, die man in den Ofen schieben muß, müssen immer beide Seiten des Ofens oder des Gewölbes berühren. Das ist unumgänglich nötig, damit die Holzscheite sehr rasch abbrennen, denn die sie berührenden Ofenwände lassen die Scheite so rasch abbrennen, weil ihre Hitze das Holz stürmisch brennen macht. Wenn zwischen den Seiten des Ofens oder des Gewölbes und den Holzscheiten viel Zwischenraum ist, so würden sie das Holz durch ihre Hitze beim Brennen nicht befördern noch sich auch selbst nicht in gleicher Weise erhitzen können, weil sie dem Feuer zu ferne wären. Dies ist von der größten Bedeutung für beides, die Sparsamkeit und die Höhe des erzielten Hitzegrades, daß die Seitenwände eines jeden Ofens nahe den Scheiten liegen. Gleichgültig bei welchem Ofen, sollten die Wände nur so viel Platz zwischen sich lassen, daß man die Scheite einschieben könne.

[Der Grund für die Blasigkeit des Glases und die Art, es blasenfrei zu bekommen.]

[155] Es gibt mehrere Gründe für die Entstehung der Blasen im Glase. So bilden sich in den flüssig werdenden Bestandteilen Gasmengen, und ebenso entwickelt sich Gas aus dem Hafenton in dem Maße, wie er von dem Glase in seinem Innern verflüssigt wird. Aber obwohl sich es so verhält, so muß man nur einen Ofen haben, der den größten Hitzegrad hergibt und das Glas, wenn es nur erst geschmolzen ist, auf ihm erhält, bis sich überhaupt keine Blasen mehr irgendwo

---

[1]) Will man aber Kronglas schmelzen, so muß diese Höhe $5^1/_2$ Fuß [= 1,78 m] betragen.

[2]) ... Holz, und der Hitzegrad ist höher, und um so größere Häfen kann man hineinstellen.

im Glase zeigen[1]). Namentlich wenn der Ofen eine starke Hitze gibt, so braucht man auf ihm das Glas nach der Verflüssigung nur drei oder vier Stunden lang zu erhalten; auch muß die Verflüssigung bei dem stärksten Hitzegrade erfolgen. Blasiges Glas beweist, daß der Hafenton die Blasen des Glases erzeugt. Man sollte nicht annehmen, der Grund liege darin, daß der Satz nicht genügend Schmelzmittel enthalte, denn wenn die Schmelzmittel den Sand völlig verflüssigen, der den Hauptteil des Satzes ausmacht, so kann man sicher sein, daß es darin an Schmelzmitteln nicht mangelte, selbst wenn nach der Schmelzung das Glas blasig bleibt. [156] Die Schmelzung ist vollendet, d. h. der Sand ist von den Schmelzmitteln vollkommen verflüssigt, daß [!] das Glas noch vollkommen blasig ist. Die Verflüssigung erfolgt bei einem minderen Hitzegrad als nötig ist, die Blasen aus dem geschmolzenen Glase verschwinden zu lassen. Aber man macht das Glas immer durchsichtiger, wenn die Schmelzung auf dem größtmöglichen Hitzegrade ist. Man erkennt, daß, wenn der Ofen keine genügende Hitze gibt, er es in dem Hafen, wo es geschmolzen war, kühler werden läßt. Denn wenn das Glas der ersten Schmelzung nicht völlig klar bleibt, da es sich eben abkühlt, so ist das eben ein Beweis dafür, daß es nicht den hohen Hitzegrad erhalten hat, den man dem Glase zu seiner vollkommenen Vollendung geben muß. Sobald der Sand vollkommen geschmolzen ist, ist das Glas voller Blasen. Sie verschwinden nur in dem Maße, in dem das starke Feuer erhalten wird. Man braucht immer drei bis vier Stunden, bis das Glas blasenfrei wird, ja selbst mehr, ehe dieses Ziel erreicht ist. Wollen die Blasen beim höchsten Hitzegrade durchaus nicht ganz verschwinden, so muß man mit dem Feuer etwas nachlassen und es für vier oder fünf Stunden auf diesem geringeren Hitzegrade lassen[2]), [3]).

[157] Ein gutes und einfaches Mittel, die Formen für das Glasgießen im Schmelzofen vorzubereiten.

Wenn man die Form in den Ofen setzt, so muß man ihre Bodenfläche mit weißem Sande bedecken und zwar in der ganzen Ausdehnung drei oder vier Linien [= 7 oder 9 mm] hoch. Will man das Glas in die Form laufen lassen, so entfernt man diesen Sand vom Boden der Form mit einer Kratze aus Eisen, und wenn etwas Sand zurückbleibt, so braucht man sich nicht zu beunruhigen, denn das Glas läuft darüber hin, ohne sich mit dem Sande zu mischen. Sobald sich aber das Glas in der Form ausgebreitet hat, muß man es in seiner Form herausziehen und in den Ofen zum Wiederbrennen schieben. Dieser Ofen zum Wiederbrennen wird nur auf rotbraune Glut gebracht.

Setzt man einen Deckel auf die Spiegelform, so braucht man ihren Boden nicht mit Sand zu bedecken, und wenn man das Glas hineinlaufen läßt, so muß man den Deckel mit einem Eisenstäbchen anheben, das man in den Ring *ff* auf der Zeichnung von Tafel 5 [v] steckt. Man muß diesen Deckel ungefähr 6 bis 7 Linien [= 13 bis 16 mm] vom Boden der Form entfernen und hält ihn so lange in der Schwebe, bis alles Glas in die Form geflossen ist. Legt man einen Deckel auf die Spiegelform, so springt die Scheibe zwar in mehrere Stücke, aber anderseits ist das Glas minder gallertig, wenn die Form ihren Deckel hatte.

[Über guten Hafenton.]

[158] Unter allen Tonarten, deren ich mich zum Bau meiner Häfen bediente, habe ich keinen so gut befunden wie den aus Le Fuet im Dachsfelder Tal. Er ist weiß aber sehr sandhaltig. Um ihn davon frei zu machen, schlämmt man ihn. Er widersteht der Hitze gut. Meine Häfen aus

---

[1]) Indessen gibt es Arten von Tonerde, die stets Blasen im Glase geben. Guten Ton, der keine Blasen gab, habe ich nur in Le Fuet im Dachsfelder Tal gefunden. Die Häfen, die ich aus diesem Ton machte /: und wenn ich eine starke Hitze erreichte :/; so brauchte das Glas keine lange Zeit, um blasenfrei zu werden.

[2]) Manchmal kommt es vor, daß das Glas während des starken Feuers die Hafenfläche schmelzt, und das verursacht Glasblasen, weil sich Gas aus dem Hafenton frei macht. Vermindert man das Feuer, so geschieht das mehr[3]) [auf 157]:

[3]) [Zuerst unleserlich, es handelt sich offenbar um eine schlechte Art für Hafenton:] ..., so gibt er stets Bläschen im Glase, welchen Hitzegrad man auch gegeben hat. Der Dachsfelder Ton oberhalb von Le Fuet gibt keine, wie stark die Hitze auch sei.

solchem Ton machen das Glas gar nicht blasig, und ich habe mit diesem Ton stets blasenfreies Glas erhalten. Schade, daß man so wenig davon hat.

Ich bin genötigt, mich des Tons von Lengnau oder Grange zu bedienen, der sich zwischen den Gebieten von Solothurn und Biel findet. Ich habe auch den von Motier grand Val benutzt, aber er gibt farbiges Glas. Er ist für die Öfen etwa so gut wie der von Lengnau. Seitdem ich den von Le Fuet nicht mehr habe, benutze ich den von Lengnau, aber er ist für meine Häfen etwas zu fest. [159]

/: Ich habe die Tonarten von mehreren Gegenden versucht. Der beste ist der von Lengnau :/ man muß aber den vierten bis zum dritten Teil weißen Sandes hinzutun. /: Doch muß man den /: groben Sand damit entfernen, daß man ihn durch ein Haarsieb von genügender Feinheit schickt. :/ Man muß die Tonerde mit dem weißen Sande in eine Schüssel tun, doch muß sie vorher ganz trocken sein, ehe man sie mit dem Sande in die Schüssel tut, denn anders läßt sie sich nicht zerkleinern, sondern bildet harte Klumpen, die sich nicht leicht zerreiben lassen. Hat man sie in der Schüssel, so muß man klares Wasser hinzugeben, etwa doppelt so viel als nötig wäre, um den Ton ganz unter Wasser zu setzen. Man läßt es sich zwei Tage und zwei Nächte sättigen, ohne es irgendwie zu erschüttern. Nach Ablauf der 48 Stunden muß man das ganze umrühren, bis es [160] gut verdünnt ist und klar wie dicklicher Brei oder noch klarer. Ist nicht Wasser genug da, so muß man welches hinzugießen und die so zur Klarheit verdünnte Mischung muß man durch ein feines Haarsieb schicken, um den groben Sand dieser Tonart und auch des weißen Sandes zu entfernen; ist alles durch das Sieb gegangen, so läßt man es 5 bis 6 Tage sich absetzen. Nach dieser Zeit muß man das Wasser entfernen, das über dem Niederschlage in dem die Mischung enthaltenden Gefäß steht. Man braucht nur ein kleines Loch in der Gefäßwand in der Höhe der niedergeschlagenen Tonerde zu machen, so läuft das Wasser dadurch heraus. Ist das geschehen, so schüttelt man alles gut durch, um Sand und Tonerde gut miteinander zu mischen. Alsdann bringt man diese Masse in die [Holz-] Formen für die Häfen und für die Rührer und für die Gießformen. wie es auf S. 116 beschrieben wurde.

[161] Man darf diesen zur Hafenherstellung vorbereiteten Ton nie in Eichengefäßen aufheben, weil das Eichenholz ihm eine blaue Färbung verleiht, die von dem Eisen stammt, das dem Eichenholz beigemischt ist. Dieses Blau gibt dem Glas eine braune Farbe und regt das Blei aus dem Glassatze an.

Hauptsächlich muß man eichene Gefäße meiden, wenn man Alkali herstellen oder Pottasche oder Salz irgendwelcher Art in größerer Reinheit herstellen will. Man darf dafür nur Ton- und Glasgefäße brauchen. Die letztgenannten sind besser, weil sie sehr gut das Alkali auch in flüssigem Zustand erhalten, was die andern nicht tun, denn bei Tongefäßen dringt das Alkali durch die Poren, und Metallgefäße werden von ihm angegriffen.

[Die Frühjahrsschmelzen im Jahre 1805.]

[162 leer] [163] Im April und Mai 1805 habe ich 4 Glasschmelzen vollendet. Ich habe die Glasstücke wieder erweicht, nachdem ich zunächst den Glasblock zerschlagen und die guten Stücke von den schlechten getrennt hatte. Ich habe sie in die Formen laufen lassen, wie es die Zeichnungen auf den Tafeln 3 u. 4 [vi u. vii] erkennen lassen. Ich ließ sie in Formen mit und ohne Deckel laufen. In den Formen mit Deckel sprang das Glas bei der Abkühlung; in den Formen ohne Deckel ging es besser; das Glas läuft ohne irgendwelche Schwierigkeit, doch sind Fäden darin. Sie dehnen sich fast in dem ganzen Glasstück aus, so daß diese Ausbreitung nur gut ist für Glas ohne Fäden, aber mit Wellen oder in gallertigem Zustande. Diese Wellen verschwinden, weil sich eine Schicht über die andere legt, ohne daß das Glas blättrig würde.

Das Glas vom Schmelzhafen in die Spiegelformen zu gießen ist nur gut, um die Wellen verschwinden zu lassen, aber die Fäden dehnen sich dabei oft in Stücke hinein aus, die davon frei waren. Wie man keine [164] Glasschmelze erhalten kann ohne Fäden an irgendeiner Stelle des Blocks, so findet es sich auch, daß man manchmal nur ganz wenig fädenfreie Stücke erhält.

Die erwähnten Glasschmelzen 4, die ich, wie soeben berichtet, ausgeführt habe, lehrten mich, daß es bestimmte Arten von Pottasche gibt, die auf Glas führt, das man vollkommen gut senken kann, während andere Glas geben, das zwar vor dem Senken klar und durchsichtig war, hernach

aber diese Eigenschaften verliert und beim Senken milchig wird. Es sieht aus wie Porzellan, aber wenn man ihm den stärksten Hitzegrad gibt, den es beim Schmelzen erhalten hatte, und es 10 bis 15 Minuten darauf hält, so wird es wieder durchsichtig, neigt aber dazu, blasig zu werden. Denn weil es so lange erhitzt wird, so greift es den Sand auf dem Boden der Formen an. Es ist besser den Glasblock solcher Art zu zersägen [165] als ihn in Stücke zu zerschlagen, um sie zu senken. Denn wenn man ihn in Scheiben zersägt hat, so kann man sie anpolieren, um die guten Glasstücke zu erkennen und sie nachher mit Eisenscheiben und mit Sand herauszuschneiden[1]).

[Ein neuer Rührer.]

Ich habe das Glas von zweien dieser 4 Schmelzen mit einem Rührer durchgerührt, der, wie früher beschrieben, wie ein Butterstößer geformt war. Er ist in der Zeichnung auf Tafel 5 [v] wiedergegeben. Das Glas der beiden anderen Häfen habe ich mit einem /: Haken :/ Tonzylinder wie sogleich anzugeben gerührt. Ich stellte einen runden Eisenstab von 18 Linien [= 4 cm] Durchmesser her. Es ist zylindrisch und hat 7 Fuß [= $2^1/_4$ m] Länge. Ich bog eines seiner Enden winkelrecht. Das Ende hatte 8 Zoll [$21^1/_2$ cm] Länge, wie man es auf Tafel 7 [xiv] sieht. /: Der Maßstab befindet /: sich auf der Tafel daneben. :/ Der Tonzylinder *aa* ist hohl, um darin den Eisenstab *bb* anzubringen; er hat darin einen Spielraum. Der Zylinder besteht aus demselben Ton wie die Häfen und ist in einer entsprechenden Form hergestellt. [166] Ich führte diesen Zylinder in dem Hafen mittels des andern aus dem Ofen herausragenden Ende des Eisenstabs. An der Ofenöffnung muß ein Eisenstab mit einer Kerbe angebracht sein, in die man den Stab *bb* legt. Der Zweck für diese Kerbe ist, es zu verhindern, daß der Stab *bb* hin und her schwanke, wenn man ihn außen bewegt. Vielmehr soll er der Länge nach in der Kerbe gleiten, so daß man mit dem äußeren Griff des Stabes *bb* den Tonzylinder überall hin führen kann immer an der Hafenwandung entlang und so, daß das untere Ende des Zylinders immer den Hafenboden berühre. Man läßt ihn so 4 bis 5 Stunden lang in möglichst rascher Bewegung[2]), aber während des Schmelzens muß man ihn auch von Zeit zu Zeit in Bewegung halten, um den Glassatz sich nicht entmischen zu lassen. Auf diese Weise also habe ich die beiden Schmelzen durchgerührt, und sie lieferten mir viel mehr [167] gutes Glas als die mit der andern Rührweise. Ich habe während des Rührens das Feuer so wenig wie möglich abnehmen lassen. Sobald ich mit dem Rühren fertig war, habe ich alle Öffnungen des Ofens aufgemacht und sie für 3 bis 4 Stunden so gelassen, und dann habe ich sie ganz allmählich geschlossen[3]).

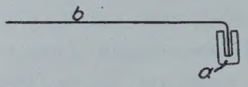


Fig. xiv. Kolbenrührer.
a Tonzylinder.
b Eisenstab von 7 Fuß [= $2^1/_4$ m] Länge.
S. S. (165).

Es ist vorteilhaft, nach dem Ende des Rührens alle Ofenöffnungen aufzumachen, damit die Teilchen von Hafenton, die in das Glas eintreten mögen keine Zeit haben, in ihm aufzusteigen und die Fäden *oo* der Zeichnung auf Tafel 1 [*i*] zu erzeugen, und damit es nicht milchig werde.

Die Häfen aus Ton von Lengnau machen das Glas blasiger als die aus dem Ton von Dachsfelden, denn er enthält eine Art Salz. Das läßt sie stark angegriffen werden und in hohem Grade Gase entwickeln, wenn man sehr stark heizt. Die Neutralsalze der Pottasche verursachen ebenfalls Gasblasen, und das habe ich auch bei den besprochenen 4 Schmelzen bemerken können.

Der Rührer nach der soeben beschriebenen Art ist viel besser als die andern; es hat sich [168] mehr als zwei Drittel guten Glases ergeben, und es ist weder gallertig noch wellig wie das,

1) Für diese 4 Schmelzen habe ich mich zweier Arten von Pottasche bedient; das Glas mit der einen blieb beim Senken sehr gut durchsichtig, aber das der andern wurde dabei ganz milchig. Die Mengenverhältnisse waren bei allen 4 Schmelzen dieselben.

2) Während der letzten halben Viertelstunde des Rührens darf man den Rührer weder die Wandung noch den Boden des Hafens berühren lassen. Aber man darf mit dem Rühren nicht eher beginnen, als bis das Glas blasenfrei ist.

3) Will man den Rührer anhalten, so muß man ihn längs der Hafenwandung herumführen und weder diese noch den Boden berühren; und ihn dann an einer Stelle der Hafenwandung, ohne ihm eine andere Bewegung zu geben, als ihn der Hafenwandung entlang zu führen, aber nicht mehr als den vierten Teil ihres Umfangs. Das soll 7 oder 8 mal [geschehen]. Auf diese Weise erhält man am wenigsten Fäden im Glase. [Siehe S. 173 am Schluß, S. 186/7 u. S. 190.]

was ich vor diesen 4 Schmelzen herstellte. Daher braucht man das Glas nicht mehr über eine gewisse Wegstrecke fließen zu lassen, um ihm die Wellen zu nehmen, wie das auf S. 64 geschildert war.

Der Satz für die 4 Schmelzen war

30	Pfund	weißen Sandes	[27,2 Hundertteile]
44	„	Mennigs	[40 „]
36	„	roher Pottasche	[32,8 „].

Sie vermindert sich beim Reinigen auf die Hälfte. Ich hatte ihr beim Reinigen die Neutralsalze nicht genügend entzogen, und daher wurde das Glas beim Senken so sehr milchig und hatte auch Blasen.

Das Glas der letzten Schmelze war wohl klarer als das der andern, hatte aber einen kleinen schwärzlichen Strich. Es fanden sich im Gefolge der Blasen feine Fäden von 5 bis 6 Linien [= 11 bis $13^1/_2$ mm] Länge, wie ich sie nie bei irgendeinem Glase gesehen habe. Die Fäden können nur von den nach der Reinigung der Pottasche im Alkali gebliebenen Neutralsalzen stammen. Das Gas der Neutralsalze kann noch eine kleine Menge fixen Alkalis enthalten haben, und das kann sich von den Neutralsalzen in dem Maße freigemacht haben, als diese in Gasform in dem Glase aufstiegen. Das Alkali verband sich mit dem Glase und bildete Fäden. [169] Denn es bleibt immer eine kleine Menge Neutralsalze mit dem fixen Alkali verbunden und kann sich davon nur bei der stärksten und lang unterhaltenen Hitze freimachen. Das hat mich die Erfahrung mehr als einmal gelehrt.

[Die erste Sommerschmelze im Jahre 1805.]

[Donnerstag] d. 20. Juni 1805 machten wir eine Schmelze, die wir mit einem Rührer nach Art dessen in der Zeichnung nach Tafel 5 [*v*] durchgerührt haben, doch waren keine Löcher in der Scheibe bei *xx*, wie ich sie bei andern früher hergestellten Rührern hatte, wo ich immer zehn Löcher unregelmäßig über die Ausdehnung der Scheibe angebracht hatte. Wir haben also das Glas mit diesem Rührer ohne Löcher durchgerührt; er drehte sich aller 2 Sekunden einmal um seine Achse und hob und senkte sich einmal in der Minute. Wir ließen ihn in der Höchststellung 15 Sekunden lang sich um seine Achse drehen und haben im ganzen 6 Stunden gerührt. Der Rührer blieb 2 Linien [$4^1/_2$ mm] vom Hafenboden entfernt. Das Glas war überall voller Fäden [170] und wurde von einem sehr ausgesprochenen Gelbgrün, weil beim Durchrühren ein kleiner Eisenspahn in den Hafen fiel, vorher war das Glas von dieser letzten Schmelze sehr weiß. Ich habe bei dieser Schmelze bemerkt, daß man die Häfen so porenfrei wie möglich machen sollte und besonders ohne Spalt und Riß namentlich am Hafenboden, denn von diesen Spalten und Rissen stammen die Glasblasen. Man muß daher bei der Anfertigung den Ton der Häfen und Rührer stark zusammenpressen; wenn man sie aus ihrer Form genommen hat, so sollte man sie mit Hammerschlägen verfestigen und mit einem Messer zusammenstreichen und glätten.

Ich habe ferner die Beobachtung gemacht, daß, wenn man den Rührer nirgendwo an dem Rande oder Boden des Hafens anstoßen läßt, das Glas in Berührung mit dem Hafen übervoll von Fäden ist, und daß man beim Rühren diese Fäden in die Masse des Glases hineinzieht. Und außerdem liefert der Hafen so überreichlich diese Fäden, daß, wenn man den Rührer nirgendwo anstoßen läßt, um diese Fäden nicht an ihrem Entstehungsorte mitzunehmen, das Glas überall voller Fäden ist. [171] Diese letzte Schmelze hat mich das mehr als irgendeine frühere erkennen lassen. Man muß nicht bei allzu großer Hitze rühren, weil dann der Hafen ein Übermaß an Fäden liefert, und das Glas, wenn ein wenig kühler, nicht in so starker Bewegung ist. Freilich bedarf man einer um die Hälfte größeren Anstrengung zur Bewegung des Rührers, als wenn das Glas seine größte Hitze hat. Die Zylinder sind zum Rühren viel besser, weil sie beim Rühren überall mit dem Hafen in Berührung kommen. Man muß den Hafen und den Rührkolben so anlegen, daß der Rührer überall die Wandung und den Boden des Hafens berührt.

Der Rührkolben läßt ebenso Fäden entstehen wie der Hafen, und zwar im Verhältnis seiner Oberfläche, aus diesem Grunde sind die Zylinder vorzuziehen, weil sie überall von dem Hafen berührt werden.

[Die zweite Sommerschmelze von Flintglas im Jahre 1805.]

[172] Ich habe eine Schmelze Flintglas in der ersten Woche des Julis [1. bis 6. Juli] 1805 gemacht, und, wie eben beschrieben, mit dem Zylinder gerührt. Mehr als die Hälfte des Glases fand sich ohne Fäden und Kometen, d. h. es waren keine Fäden hinter den Sandkörnern noch hinter den Gasbläschen. Das Glas ist ein wenig violett gefärbt. Ich habe beobachtet, daß der Hafenton aus Morteau diese Farbe gibt. Im Glase sind feine Bläschen. Ich habe es nach Beendigung des Rührens eine Stunde lang bei einem niedrigen Hitzegrade gelassen, um die Blasen zu vertreiben; die großen sind verschwunden, aber die kleinen sind geblieben. Ich habe eingesehen, daß der Hafenton sie veranlaßt: blasenfreies Glas habe ich nur mit dem Ton von Le Fuet im Dachsfelder Tal erhalten. Will man Glas wieder erweichen, so muß man sich von der Art so viel beschaffen, daß man nur eine Schicht von 2 Linien [= $4^1/_2$ mm] Dicke über alle die Flächen bringt, [173] die vom Glasfluß berührt werden.

Wenn ich das Feuer am Ofen stoppte, so habe ich ihn 3 Stunden hintereinander offen gelassen und ihn dann ganz allmählich in der Art verschlossen, daß er etwa 10 Stunden nach Aufhören der Heizung völlig verschlossen war; das Glas habe ich darin sehr klar befunden.

Ich habe mit dem Durchrühren 12 Stunden nach der Zeit völliger Verflüssigung begonnen. Bei dem höchsten Wärmegrade habe ich den Rührkolben in den Hafen gesenkt, damit er seine Wirkung auf die Blasenbildung im Glase ganz ausübe, ehe durchgerührt werde. Wenn ich ihn eine Stunde lang bei starker Hitze belassen hatte, so habe ich angefangen, den Hitzegrad zu vermindern, ndem ich die Öffnungen etwa zu zwei Dritteln schloß. Ich habe durchgerührt, sobald der Rührkolben in das Glas gesenkt war, und habe 6 Stunden lang gerührt und ließ den Kolben ständig den Boden und die Wandung des Hafens berühren. Aber in den 7 oder 8 letzten Rührbewegungen, die ich den Rührkolben ausführen ließ [174] längs der Hafenwandung, berührte er Wandung und Boden nicht. Es fehlten etwa 6 Linien [= $13^1/_2$ mm] daran, daß er an der Seite oder unten berührte. Alsdann habe ich den Rührkolben gegen die Wandung des Hafens geführt und ihn daran etwas hin und her geschoben, aber nicht weiter als den vierten Teil des Umfanges der Wandung. Das habe ich 10- bis 12 mal wiederholt und ihn dann ganz gegen diesen Wandungsteil gelehnt, wo er dann in dem Glaskuchen geblieben ist. Das Glas ist durchaus nicht gallertig oder wellig, es ist sehr gleichartig, oder es hat keine Fäden; mehr als die Hälfte des Glasblocks ist frei von Fäden.

[Die dritte Sommerschmelze von Kronglas im Jahre 1805.]

[175] [Montag,] d. 22. Juli 1805 habe ich eine Schmelze Kronglas gemacht. Ich habe 4 kleine Häfen eingetan, um verschiedene Glassätze zu erproben. Der Satz des großen Hafens war 44 Pfund [50 Hundertteile] weißen Sandes und 44 Pfund [50 Hundertteile] gereinigter und einmal auskristallisierter Pottasche. Sie war soweit eingedickt, bis der Tropfen auf der kalten Eisenplatte dicht genug war. Der Satz des ersten kleinen Hafens war 8 Unzen [= 245 g] [47 H.] weißen Sandes und 9 Unzen [= 275 g] [53 H.] der gleichen Pottasche wie im großen Hafen. Der Satz des zweiten kleinen Hafens waren 8 Unzen [= 245 g] [44,5 H.] weißen Sandes und 10 Unzen [= 301 g] [55,5 H.] derselben Pottasche. Dies hat ein in der Luft beschlagendes Glas gegeben. Es ist die Flüssigkeit von Cailloud.

Der Satz für den dritten kleinen Hafen ist 8 Unzen [= 245 g] [$36^1/_2$ H.] weißen Sandes, 4 Unzen [122 g] [18 H.] Asche von Heister- oder Buchenholz und 10 Unzen [= 305 g] [$45^1/_2$ H.] derselben Pottasche. Der Satz für den 4. kleinen Hafen war 8 Unzen [= 245 g] [$27^1/_2$ H.] weißen Sandes, 8 Unzen [= 245 g] [$27^1/_2$ H.] oben beschriebener Asche und 13 Unzen [= 400 g] [45 H.] der beschriebenen Pottasche. Diese drei kleinen Häfen ergaben schön weißes Glas, das von der freien Luft nicht angegriffen wurde. Der Satz in dem großen Hafen ergab [176] weißes, von freier Luft unangreifbares Glas. Aber alle diese guten Glassätze hatten keinen genügenden Hitzegrad erhalten, um das Glas nach erfolgter Schmelzung zu läutern, so daß ich das Glas nicht durchrühren konnte, weil es nicht flüssig genug war, auch blieb es, geschmolzen, blasenhaltig. Die Verflüssigung ist sehr gut gelungen, denn in dem Glase sind gar keine Sandkörnchen. Da ich sah, daß die Oberfläche des Glases im großen Hafen hart wurde, weil die Schmelzmittel verdampften, brachte ich etwa 1 Pfund [= 489 g] Pottasche auf das Glas, was in kurzer Zeit die Oberfläche des Glases gelb färbte.

Als ich das sah, habe ich Mangan in Pulverform auf das Glas gestreut und mit einem eisernen Haken gerührt. Das Mangan ließ die Gelbfärbung des Glases verschwinden, doch kam sie an der Glasoberfläche bald wieder zum Vorschein. Dies alles ließ mich erkennen, daß man das Glas mit einem Deckel versehen müsse, sobald man erkenne, daß die Verflüssigung erfolgt sei. Der Deckel hindert das Verdampfen der Schmelzmittel und hindert die Flamme oder den Rauch daran, [177] dem Glase unerwünschte Farben zu geben. Denn wenn man Feuer bei völliger Öffnung des Ofens gibt, so verleiht der Rauch dem Glase eine schlechte Farbe. Ist der Satz aber mit nicht ganz weißem Sande und mit ungereinigten Schmelzmitteln gemacht, so sollte man keinen Deckel hinauftun: er würde nur die Verdunstung der Farben im Glassatze hindern. Aber wenn man das Glas ohne Fäden für farbenfreie Fernrohre herstellen will, so ist es unbedingt notwendig, ganz weißen Sand zu verwenden ebenso wie ganz reines Alkali, und den Deckel auf das Glas zu tun, sobald die Verflüssigung vollzogen ist; nicht früher, weil er die Verdampfung der Neutralsalze hindern könnte, die noch in dem Alkali und den bei der Schmelzung entweichenden Gasen zurückgeblieben sein könnten. Man muß den Deckel auf dem Glase lassen, bis es blasenfrei ist. Dann nimmt man den Deckel ab und rührt mit dem Kolben, wie man es bei Flintglas macht; doch muß man bei dem allerhöchsten Hitzegrad durchrühren [178] und zwar 2 Stunden lang hintereinander. Man muß den Hitzegrad vermindern, indem man die Ofenöffnungen zur Hälfte schließt, und es 6 Stunden dabei lassen. Die etwa vorhandenen Blasen entweichen noch bei diesem Hitzegrade, ohne daß der Hafen weitere entstehen ließe, weil dann das Glas den Hafenton nicht verflüssigen kann. Wenn man aufhört, den Ofen zu befeuern, so muß man ihn vollkommen abschließen und die Fugen sorgfältig verschmieren, aus denen die Wärme entweichen könnte; dies geschieht, damit der Glasblock bei der Abkühlung nicht springe. Will man das Glas in eine Form laufen lassen, so muß man das tun, wenn man den Ofen schließen will. Indessen muß man dafür entweder die Häfen neigen oder den Ofen um seine Achse schwenken wie den der Tafel 5 [v]. Man muß das Glas in großem Fluß auslaufen lassen, d. h. die ganze Schmelze auf einmal umkippen, damit sich das Glas nicht Schicht über Schicht vorschiebe, sondern sich auf einmal in der Form ausbreite, [179] denn anders wird das Glas blättrig. Ist es ausgeflossen, so bringt man die Form mit dem in ihr ausgelaufenen Glase in den Ofen zu langsamer Kühlung.

[Der Ofen für Kronglas.]

Diese Art Glas, Kronglas, läßt sich nur in einem 5 Fuß [= 1,6 m] im Lichten hohen Ofen von 4 Fuß [= 1,3 m] Durchmesser schmelzen. Er sollte gebaut sein wie der auf Tafel 5 [v]. Denn wenn der Ofen im Lichten nur 4 Fuß Höhe [= 1,3 m] und 3 Fuß [= 1 m] Durchmesser hat, so kann man nicht Hitze genug für Glas mit Salzschmelzmitteln geben. Dort kann man gut Glas schmelzen, wo, wie bei Flintglas, die Hälfte der Bestandteile Kalk, Blei und fixes Alkali sind.

[Kronglasschmelzen ohne Durchrühren.]

Kann man Kronglas noch auf eine andere Weise herstellen? Dann, wenn man die Schmelze mit einem Satz aus ganz weißem Sande und aus fixem Alkali von höchster Reinheit ohne irgend andere Beimischungen macht. Auch muß man in einem Hafen schmelzen, der ein Glas von gleicher Schwere ergibt /: und folglich :/ wie die des Satzes, denn sonst verdirbt der Hafen das Glas. [180] Wenn der Hafen /: aus einem eher schwereren als leichteren Stoffe besteht, alsdann :/ ein Glas von gleichem Gewicht ergibt wie der Satz, dann wird das in dem Hafen erzielte Glas von der gleichen Brechung sein wie das, das er zur Schmelzung enthielt. In diesem Falle muß man den Satz sehr gut mischen, und zwar geschieht das auf folgende Weise: man muß den weißen Sand wie üblich durch ein feines Seidensieb schicken, man muß das zugehörige Alkali soweit einkochen, bis es auf der kalten Eisenplatte zu gerinnen beginnt, dann muß man es in den Sand tun und beides sehr gut zusammenrühren. Ist das geschehen, so bringt man es in den Hafen, wenn der Ofen den höchsten Grad der Hitze hat, den man ihm geben kann. Man soll den Satz nicht hineintun, wenn der Ofen raucht, denn das verfärbt das Glas, und die Masse wird nicht so gleichartig. [181] Unter allen Umständen sollte man weder den Satz noch das Glas in dem Hafen erschüttern; man muß den Hafen auf einmal ganz voll schütten, und nur ein einziges Mal einfüllen; denn wenn man zu zwei Malen füllt, so gibt es Blätterungen und Fäden im Glase da, wo sich die Beschickungen voneinander son-

dern, d. h. wo man mit dem Beschicken aufgehört hat, und wo man mit der neuen Füllung begann. Man sollte einen Hafen haben, dessen Wandung noch einmal so hoch ist, wie der gewünschte Glasblock Höhe hat. Sobald die Verflüssigung vollendet ist, sollte man einen Deckel auf das Glas tun. Der Deckel ist aus dem gleichen Ton zu machen wie der Hafen. Man läßt den Deckel auf dem Glase und führt die Schmelze in der gleichen Weise, wie man sie durchrühren wollte, aber man braucht das Glas nicht zu gießen. Man läßt es in dem Ofen kühl werden, wo man es geschmelzt hatte. Und wenn er kalt ist, so sägt man das Glas nach Belieben entzwei. [182] Man muß das Glas lange Zeit unter großer Hitze halten, nachdem es verflüssigt ist, damit es gleichartig werde. Denn wenn es diesen hohen Hitzegrad nicht lange genug erhalten hat, so wird es gallertig oder anders ausgedrückt wellig. Es wird durchaus nicht fadenreich, sondern nur wellig. Hält man es [aber] lange genug auf einem hohen Hitzegrade, so wird es überall gleichartig, aber der Hitzegrad muß hoch genug sein, um das Glas ganz leichtflüssig zu machen. Wenn der Satz kein Glas von gleicher Brechung ergibt, wie das, das der Hafen liefern würde, so wird das Glas gallertig, und dieser Zustand gibt blättriges Glas, mag man es gießen oder blasen, selbst dann, wenn die Schichten der Oberfläche nicht in das Innere des Glases gelangen.

[183] Man ist [aber] immer sicherer, kein gallertiges Glas zu erhalten, wenn man es durchrührt.

[Regeln für die Schmelzung von Kronglas.]

Da es eine Tatsache ist, daß Kronglas immer — auch bei höchstem Hitzegrade — viel weniger flüssig ist als Flintglas, und da es ferner nötig ist, daß das Glas flüssig genug sei, um es durchrühren zu können, so muß man für Kronglas einen Satz mit Bestandteilen bereiten, die ein flüssiges Glas liefern. Die Arten schmelzbaren Sandes geben den Grundstock für den Satz. Man muß also eine Art Sand wählen, die schnell genug schmilzt, und die doch kein farbiges Glas liefert. Dies kommt bei leichtschmelzendem Sande oft vor, weil solche Arten nur leicht schmelzen, wenn ihnen ein gewisser metallischer Bestandteil beigemischt ist, und der gibt den Sandarten ihre Färbung. Indessen gibt es erträglich weiße Sandarten, die das Glas nur wenig färben und doch [184] leicht genug schmelzen. Derartigen findet man bei la Chaux-de-Gillié in Frankreich, aber diese Fundstätte ist erschöpft. Man muß also einen guten Sand aufsuchen. Man kann reine Asche hineintun von Buchenholz oder vom Weinstock, aber man muß diese Asche noch einmal brennen, um die kleinen Kohlen- oder sonst brennbaren Teile, die darin noch verblieben sein können, vollkommen in Asche überzuführen. Denn solche brennbare Stoffe würden dem Glase eine schlechte Farbe geben. Man kann auch dem Satz Mennig mit reinem fixem Alkali beigeben; freilich gibt das ein Kronglas von stärkerer Brechung, doch kann man dem entgegenwirken, indem man das Flintglas aus weißem Sand und Mennig zusammenschmilzt, ohne daß man ihm Alkali gegen die Gelbfärbung beimengt. Dieses Flintglas wird eine viel höhere Brechung bekommen und seine gelbe Farbe ist sehr schön und ganz durchsichtig. Sie schadet nicht, wenn man irdische Gegenstände betrachtet, im Gegenteil, wenn man durch solches Glas sieht, so glaubt man, die Sonne beschiene die Gegenstände. Für das Flintglas dieser Art [185] kann man zwei Dritteile Mennig [67 H.] und ein Drittel ganz weißen Sand [33 H.] ansetzen. Das gibt ein Glas mit einer etwa um die Hälfte stärkeren Brechung als unser gewöhnliches Flintglas. Und dieses bricht schon doppelt so stark wie das englische. Somit kann man einen großen Unterschied in der Brechung erhalten, [auch] wenn man Mennig in das Kronglas einführt. Man kann für Kronglas ansetzen

40	Pfund weißen Sandes	[28,7	Hundertteile
20	„ Asche, wie beschrieben	14,4	„
25	„ Mennig	18,0	„
54	„ Pottasche	38,9	„]

diese gewogen, nachdem sie gereinigt und soweit eingekocht ist, daß sie auf der kalten Eisenplatte haftet und etwas schwer zu zerdrücken ist. Man mische den Sand gut mit Mennig und Asche, dann gieße man die Pottasche hinzu und mische auch jetzt alles gut zusammen. Alsdann fülle man den Satz ein, wenn der Ofen den höchsten Hitzegrad erreicht hat. Man rühre den Satz von Zeit zu Zeit durch, bis der Sand gut geschmolzen ist und halte /: bis auf :/ für 18 Stunden großes Feuer an. In dieser Zeit können die Gase entweichen, die noch in den Glasbestandteilen sind, [186] und das Glas hat nur noch die von dem Hafenton stammenden Blasen. Diese letzten treten aus, und

der Hafen gibt keine weiteren ab, wenn man den Hitzegrad vermindert, wie ich angeben werde. Nachdem das Glas 18 Stunden lang die größte Hitze ausgehalten hat, stoppt man das Feuer dadurch, daß man /: die Hälfte :/ zwei Drittel der Öffnungen und die Hälfte des Feuerlochs schließt. Zu gleicher Zeit beginnt man das Glas durchzurühren und fährt 6 Stunden lang ohne Unterbrechung damit fort, dabei läßt man den Kolben stets an den Hafenboden und die Wände stoßen, indem man den Kolben ständig an der Hafenwandung herumführt, und zwar so rasch wie möglich. Aber bei den 10 bis 12 letzten Rührbewegungen, die man den Kolben um die Hafenwandung ausführen läßt, berührt man den Hafen nicht und hält den Kolben an der Hafenwandung an. Ist das geschehen, so [187] führt man ihn den Umfang des Hafens entlang ohne Berührung, aber nicht um den vollen Kreis des inneren Hafenumfangs, sondern nur etwa den vierten Teil davon, nicht mehr, etwa 10- bis 12 mal hin und her, immer in dem gleichen Kreisviertel und ohne die Wandung zu berühren. Alsdann zieht man den Rührkolben auf derselben Seite des Hafens aus dem Glase und läßt von ihm möglichst wenig Glas in den Hafen zurücktropfen. Man muß ihn sanft anheben, bis sein unteres Ende das Glas verlassen hat, doch dann hebt man ihn rasch aus dem Hafen heraus. Ist das geschehen, so hält man mit dem schwachen Hitzegrade noch drei Stunden lang nach Abschluß des Rührens an, und das deshalb, damit die Bläschen aus der Hafenwandung völlig austreten können. Das Glas muß indessen flüssig genug sein, daß man es rühren kann, denn das hier besprochene Kronglas ist minder flüssig als das Flintglas. Für das letztgenannte kann man mit Hitzegraden für das Durchrühren weiter hinuntergehen und danach, [188] wenn das Rühren zu Ende ist, denn es ist dünnflüssiger als das Kronglas. Nichtsdestoweniger muß man ihm [eine Zeit lang] den höchsten Hitzegrad geben, genau wie dem Kronglas, es ebenso rühren und es drei Stunden bei schwachem Hitzegrade stehen lassen, damit die Bläschen von der Hafenwandung nicht mehr neu gebildet werden und die alten aufsteigen. Alsdann schließe man den Ofen überall völlig und verschmiere die Fugen wohl, damit der Glasblock bei der Abkühlung nicht springe, namentlich nicht wenn er aus Kronglas besteht. Denn dies mit einer geringeren Beimischung von Mennig springt immer leichter, und zwar um so eher, je weniger mennigreich. Man muß den Rührkolben, wie beschrieben, an dem Hafen hinstreichen lassen, damit er vollständig das an dem Hafen sitzende Glas abreiße, und dies Glas, das der Hafen unaufhörlich hervorbringt, schädigt am meisten, weil es sich vollstänständig mit dem Glas in [189] dem Innern des Hafens mischen muß, genau so wie das Glas von der Oberfläche des Hafens. Denn es bildet sich dauernd ein Zopf von Fäden an der Oberfläche bei jedem Hitzegrade. Der muß sich auch mit dem Glase mischen, denn sonst bleiben, wenn man beim Durchrühren dem Kolben keine genügende Geschwindigkeit gibt, Fäden im Glase, weil sie sich schneller wieder bilden, als man sie zerstören kann. Es wäre gut, einen Deckel beim Durchrühren auf das Glas zu tun, um die Wiederentstehung der Fäden an der Oberfläche zu hindern, da aber die Hafen[wände]] noch viel reichlichere liefern, so ist die Bedeckung der Glasoberfläche zwecklos. Läßt man das Glas zu lange bei dem minderen Hitzegrade nach Abschluß des Rührens, so dehnen sich alle diese Fäden sogleich in die Glasmasse hinein aus; deswegen darf man es nicht zu lange in dem niederen Hitzegrade lassen. Es empfiehlt sich, einen Deckel [190] auf das Glas zu setzen während des 18 Stunden starken Feuerns für den stärksten Hitzegrad. Denn dieser Deckel hindert das Glas, sich unter dem Holzrauch zu verfärben; man nimmt ihn zum Beginn des letzten Durchrührens fort. Es empfiehlt sich, wie beschrieben, den Rührkolben 10- bis 12 mal im Hafeninnern herumzuführen, ohne den Hafen zu berühren, damit man in die Glasmasse nicht das vom Hafen beeinflußte Glas hineinziehe; es ist besonders empfehlenswert, den Kolben nur an einem Viertel des Umfangs der Wandung entlang zu führen, wie oben beschrieben, und ohne sie zu berühren, um das Glas in Bewegung zu setzen, das sich an dem dem Kolben gegenüberliegenden Teil der Wandung befindet. Diese Bewegung zerstört wirklich die Fäden und namentlich die Wellen, ohne daß der Kolben selbst dort hindurchgezogen wird; denn dabei [191] kann er Teile des von ihm beeinflußten Glases absetzen. Diese Umstände kenne ich alle aus Erfahrung, denn ich habe dafür Versuche angestellt.

[Schlußregeln allgemeiner Art.]

Dessen kann man beim Lesen dieser Abhandlung versichert sein, denn ich habe alles geschrieben, was das Glas betrifft. Man muß das Glas 18 Stunden lang unter großem Feuer halten, damit

es gleichartig wird, damit sich alle Bestandteile des Satzes aller Gase entledigen, die ihnen wohl beigemengt sein können, die aber bei scharfem Feuer ihrer Natur nach nicht in ihnen zu bleiben vermögen. Diese Gase entweichen in kleinen Mengen und bilden die feinen Bläschen, die sich häufig im Glase finden. Eben das habe ich gelegentlich schon öfter bemerkt, daß es Blasen gibt, die vom Hafen stammen, je nachdem er infolge des von ihm umschlossenen Glases schmilzt, und sie [192] ergeben auch die Gase, die sich von dem Hafenton absondern. Aber diese Blasen vom Hafen bilden sich nicht mehr, wenn man den Hitzegrad vermindert, denn dann ist das Glas nicht mehr heiß genug, um die Innenflächen des Hafens zu schmelzen. Je geringer der Hitzegrad ist, desto weniger kann das Glas den Hafen angreifen, aber bei zu geringer [Hitze] wird das Glas starrer, und die Bläschen können nicht mehr in dem Glase aufsteigen, um es zu verlassen.

Während man das Kronglas macht, wie angegeben, muß man das Flintglas machen wie gesagt: zwei Dritteile Mennig, ein Dritteil weißen Sand, es verflüssigen und es in jeder Hinsicht behandeln wie Kronglas ausgenommen: wenn man es durchrührt und man [193] es die letzten drei Stunden unter Feuer hält, dann muß man den Hitzegrad weiter herabmindern, bis es schwer ist, es gut durchzurühren, ohne daß es dabei milchig wird. Das tritt ein, wenn man es doch durchrührt, obwohl es dafür zu hart ist, und es kommt selbst vor, daß es zwar beim Rühren noch durchsichtig bleibt, aber beim Abkühlen milchig wird. Das aber kommt hauptsächlich bei Glas vor, das Schmelzsalze enthält. Man gibt ihm seine Klarheit wieder, wenn man den Hitzegrad von neuem ansteigen läßt.

Inhaltsverzeichnis.

Der erste Teil mit den Seitenzahlen vor 156 stammt von Guinand, von wenigen durch [ ] kenntlich gemachten, im Text zum Teil von ihm selbst angegebenen Einschaltungen abgesehen.

Der zweite Teil mit den Seitenzahlen nach 155 ist neu angelegt und die Überschriften fast alle erst hier gebildet.

Rechts neben den Seitenzahlen der Guinandschen Handschrift (S_G) finden sich die Seitenzahlen dieser Zeitschrift (S_Z).

	S_G	S_Z
Die Zusammensetzung von hochbrechendem Glase. Die Schwierigkeiten, es herzustellen	1	439
Versuche mit Häfen aus jeglicher Art von Tonerde, die im Handel zu haben ist	5	441
Häfen eigener Herstellung	8	441
Versuche zur Feststellung einer etwaigen Notwendigkeit, feinen oder groben Sand in dem Hafenton zu lassen	10	442
Ein Mittel, um zu erkennen, ob es sich um eine tonige oder kalkige Erdart handelt	15	443
[Der vielfache Ofen für Häfen von 150 Pfund Glas]	17	443
Versuche, um den besten Glassatz zu ermitteln	28	447
Die Beschreibung meines ersten großen Schmelzofens	31	447
Ein Versuch mit Häfen, demzufolge ein Hafen einer Schutzvorrichtung bedarf, wenn man in ihm Glas von starker Brechung schmelzen will[1])	32	450
Versuch im Großen in dem großen Ofen und die Ergebnisse von zwei Schmelzungen	33	451
Nachweis des Grundes für die Schlierigkeit des Glases	39	501
Eine Schmelze als Beweis, daß man stark heizen muß, um bläschenfreies Glas zu erhalten (auch 37 und 62)	45	448
Die Durchrührung des Glases auf verschiedene Arten	46	448
Ein Mittel, die Fehler des Glases zu erkennen	47	449
Versuche, das Glas mit Werkzeugen ganz verschiedener Art und unter verschiedenen Hitzegraden durchzurühren	49	502
Versuche, Glasplatten zu gießen	54	503
Senkversuche mit kleinen und großen Glasstücken	56	503
Die Herstellung der Plattenformen (auch 106)	57	504
Der Zustand des Glases nach dem Senken und die richtige Art zu senken (auch 87)	58	504

[1]) In Guinands Verzeichnis vor der vorhergehenden Überschrift aufgeführt.

	S_G	S_Z
Beschreibung eines noch heute am 26. Dezember 1800 in meinem Hause stehenden Ofens	60	505
Die Ergebnisse von fünfzehn Schmelzen in diesem Ofen	62	505
Die Beschreibung eines Schmelzofens zum Ausgießen des Glases durch Schwenkung des Ofens um seine Achse	65	506
Die Anlage des Rührwerks für das Glas	69	507
Der richtige Vorgang beim Schmelzen und Gießen des Glases	71	508
Die Gestalt der Gießformen	76	509
Wie das Glas von schwacher Brechung zu machen sei	76	509
Beschreibung des Kühlofens für Scheiben	79	510
Beschreibung des Ofens zum Heizen und Brennen der Spiegelformen und der Rührer	80	510
Beschreibung eines Senkofens für gute Stücke von Glas hoher Brechung (auch 147 und 87)	84	511
Die Deckel auf dem zu senkenden Glase machen es sicher vollkommen klar	91	513
Das Verfahren, das Glas zu kühlen	96	548
Die Art, die Formen in den Schmelzofen zu schieben	99	548
Das Rühren des Glases von niedriger Brechung	102	549
Die Herstellung der Deckel	104	550
Die Anfertigung der Formen aller Art und ihrer Deckel	106	550
Die Gestaltung aller Formen	109	551
Wie man mit guten Stücken in den gegossenen Scheiben verfährt	110	551
Wie man die im Schmelzofen abgekühlte Glasmasse behandeln muß, um große Stücke zu senken	110	552
Die Scheibengrößen beim Gießen aus dem Hafen	112	552
Die Herstellung von Häfen, Rührern, Scheiben-, Senk- und allen Holzformen, um die Häfen und alles übrige herzustellen	113	552
Die Herstellung der Rührerformen und der Rührer selbst	119	554
[Der für alle Öfen brauchbare Lehm]	121	555
Die Herstellung von fixem Alkali und die Vorsichtsmaßregeln gegen die Färbung des Glases dadurch	123	555
Die zweite Art, fixes Alkali herzustellen	129	556
Um das hochbrechende Glas herzustellen, wenn man es in seinem Schmelzhafen erkalten läßt	132	557
Der Grund, warum das im Schmelzhafen abgekühlte Glas nicht trübe wird	136	558
Wie man das Glas vollkommen klar erhalte, sei es, daß man es in Spiegelformen auslaufen oder im Schmelztiegel erkalten lasse (auch 64 und 84)	91	513
[Beschreibung eines Ofens, die Scheibenformen nnd die Rührer zu brennen, und eines Trockenofens für Holz]	140	600
[Die Beschreibung eines Kühlofens für die Formen und die Stücke des Glases, die man hat auslaufen lassen]	147	602
Öfen mit und ohne Schornstein, Gründe für die Mängel des alten vielfachen Ofens	151	602
Der Grund für die Blasigkeit des Glases und die Art, es blasenfrei zu bekommen	155	603
[Ein gutes und ein einfaches Mittel, die Formen für das Glasgießen im Schmelzofen vorzubereiten]	157	604
[Über guten Hafenton]	158	604
[Die Frühjahrsschmelzen im Jahre 1805]	163	605
[Ein neuer Rührer]	165	606
[Die erste Sommerschmelze im Jahre 1805]	169	607
[Die zweite Sommerschmelze von Flintglas im Jahre 1805]	172	608
[Die dritte Sommerschmelze von Kronglas im Jahre 1805]	175	608
[Der Ofen für Kronglas]	179	609
[Kronglasschmelzen ohne Durchrühren]	179	609
[Regeln für die Schmelzung von Kronglas]	183	610
[Schlußregeln allgemeiner Art]	191	611

Referate.

Das „Ultramikrometer", ein neues Instrument zum Messen sehr kleiner Lageänderungen und Bewegungen und seine verschiedenartige Anwendung.

(The „Ultramicrometer", a new instrument for measuring very small displacement or motion, and its various applications.)

Von I. Obata. *Journ. Opt. Soc. of Am.* **16.** *S. 419—432. 1928.*

Der Verfasser erzeugt in einem Schwingungskreis mittels einer Dreielektrodenröhre Schwingungen und mißt die Anodenstromänderungen, die dadurch entstehen, daß der Betrag der zu messenden Verschiebung bzw. der zu messenden Bewegung eine Kapazitätsänderung in dem Schwingungkreis oder Wirbelstromverluste in der Schwingspule bedingt. Mit Hilfe eines empfindlichen Galvanometers werden die Anodenstromänderungen gemessen oder mit Hilfe eines Oszillographen registriert. Die Methode hat er bereits an anderer Stelle im Jahre 1925 angegeben.

In der Zwischenzeit hat er bei der Anwendung der Methode auf die verschiedenartigsten Probleme sehr befriedigende Ergebnisse erzielt, was kaum anders zu erwarten war; er hat aber im Laufe seiner Untersuchungen die Meßanordnung auch zu einem handlichen Gerät durchgebildet, dessen Geschlossenheit als neu bezeichnet werden muß, das er als „Ultramikrometer" bezeichnet. Dies Gerät und die Erfolge mit demselben behandelt er in seinen den Charakter eines zusammenfassenden Berichtes tragenden Ausführungen, über die in folgendem etwas näher berichtet werden soll.

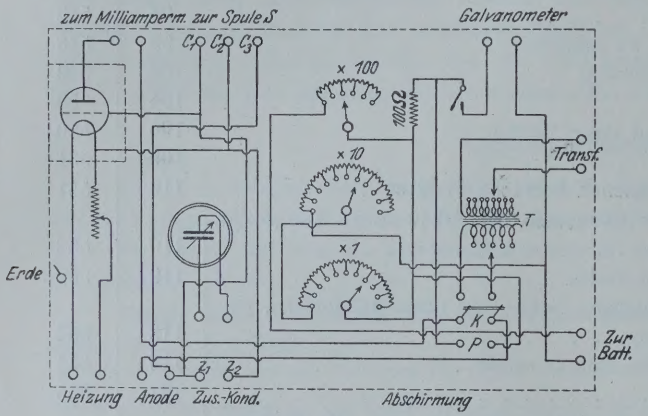


Abb. 1.

Gegenüber ähnlichen Meßanordnungen anderer Forscher benötigt das Ultramikrometer nur eine Elektrodenröhre; es läßt sowohl die Anwendung der Kapazitätsänderungsmethode als auch die der Wirbelstromverluste zu. Das prinzipielle Schaltschema und das der Anordnung der einzelnen Schaltelemente im Instrument wird aus der Abb. 1 u. 2 ersichtlich. Die Erläuterung kann sich auf folgendes beschränken. Durch den in den Abb. angedeuteten Dreifachschalter *K* können die zu messenden Ströme auf einen Transformator *T* oder ein Potentiometer *P* geschaltet werden. Letzteres dient zum Ausgleichendes konstanten Teiles des Anodenstromes; es sollen ja nur die Stromschwankungen gemessen werden. Bei der Messung schneller Vibrationen wird der Transformator vor das Meßgalvanometer *G* geschaltet. Zweckmäßig wird bei Messung einer einzelnen Verschiebung ein Galvanometer mit Nebenschluß benutzt, bei Messung fortlaufender Verschiebungen ein Saitengalvanometer, zur Registrierung ein Oszillograph. In letzterem Falle müssen die Anodenstromschwankungen vorher verstärkt werden. Diesem Zweck dient ein gewöhnlicher Verstärker. Der Schwingkreis ist so dimensioniert, daß im stationären Zustand rd. 600 000 Frequenzen erzeugt werden; durch Verstellung der Spulenabgriffe an *S* wird er angeregt. Die Schwingspule wird vom eigentlichen Apparat getrennt an einem Stativ befestigt und kann mit Hilfe einer Mikrometerschraube in der Achsenrichtung verstellt werden. Diese Verstellung wird bei Anwendung der Wirbelstrommethode benutzt. Für die Kapazitätsänderungsmethode ersetzt man aus Zweckmäßigkeitsgründen die Schwingspule durch ein einfaches Variometer. Bei Messungen nach dieser Methode ist in jedem einzelnen Falle ein geeigneter Kondensator, dessen

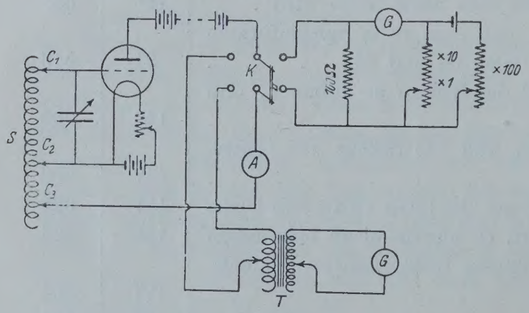


Abb. 2.

Form vom Meßproblem abhängt, herzustellen, der an den mit Z_1, Z_2 bezeichneten Klemmen angeschlossen wird. Grundsätzlich besteht dieser Kondensator aus zwei parallelen Platten. Die Methode ist äußerst empfindlich, sie gestattet noch Verschiebungen von der Größenordnung 10^{-8} mm zu messen, wenn es gelingt, Heiz- und Anodenstrom genügend konstant zu halten. Sie eignet sich besonders zur Messung kleiner, kurzperiodischer Verschiebungen.

Der Vorteil der Wirbelstrommethode ist der, daß in keinem Falle besondere Vorbereitungen ihre Anwendung erschweren. Man braucht nur die Schwingspule in die Nähe des zu verschiebenden oder schwingenden Körpers zu bringen. Ist der zu messende Körper kein Leiter, so genügt es zur Erzeugung der Wirbelstromverluste in der Schwingspule, auf seine Oberfläche ein kleines Stück Metallfolie aufzukleben.

Die Gesamtheit der Schaltelemente mit Ausnahme der Schwingspule hat der Verfasser in einem mit Metallfolie ausgelegten Holzkasten untergebracht, der das eigentliche Ultramikrometer darstellt. Die Wahl des anzuschließenden eigentlichen Meßgerätes hängt, wie bereits erwähnt, vom Meßzweck ab.

Die Empfindlichkeit ist eine sehr hohe; bei Anwendung der Kapazitätsänderungsmethode ist der Plattenabstand des Zusatz-Meßkondensators von erheblichem Einfluß auf sie. Dieser Einfluß wird aus der hier abgedruckten Tabelle ersichtlich.

Plattenabstand zu Beginn mm	Mittlere Verschiebung für 1 mm Galvanometerablenkung mm	Vergrößerung
0,5	$0{,}0007_7$	1300
0,3	$0{,}0003_7$	2700
0,08	$0{,}0000_4$	25000
0,06	$0{,}0000_2$	50000

Unter Benutzung der Kapazitätsänderungsmethode hat der Verfasser die mikroseismischen Vorgänge in der Erdkruste gemessen. Es sei hier nur erwähnt, daß er dazu einen ebenso originellen wie einfachen, für den Zweck besonders geeigneten Quecksilberkondensator als empfindliches Organ

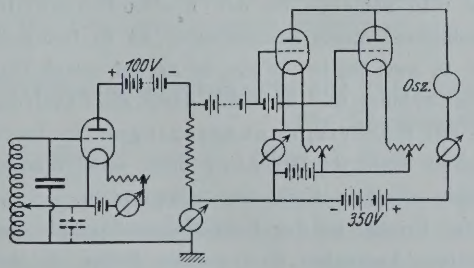


Abb. 3.

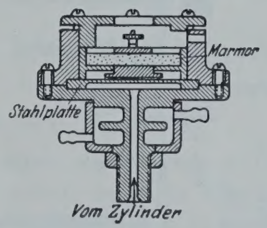


Abb. 4.

verwendet hat. Die Kurven, die mit einem Einthoven-Saitengalvanometer aufgenommen wurden und abgedruckt sind, überzeugen restlos.

Des weiteren sind mit Hilfe eines Pendels, das sich gegen die Membran einer Art Kondensatormikrophon stützt, Beschleunigungen gemessen worden. Dabei entsprach bei der praktischen Messung unter Berücksichtigung der Konstanten des Apparats eine Beschleunigung von 0,4 cm/sec^2 einem Galvanometerausschlag von 1 mm.

Ein besonderer Wert kommt dem Instrument in Verbindung mit einem Oszillator als Indikator für schnellaufende Verbrennungskraftmaschinen zu. Allerdings bedarf die Frage, inwieweit die bei den Zündvorgängen in diesen Maschinen auftretenden Druckspitzen, da die träge Masse doch nicht ganz ausgeschaltet wird, gedämpft werden, noch der Prüfung. Von dieser Frage abgesehen aber erscheint das Gerät für den Zweck als besonders geeignet. Aus Abb. 3 wird die Form des verwendeten Meßkondensators ersichtlich. Zum Unterschied von den entsprechenden empfindlichen Organen mechanischer oder optisch anzeigender Indikatoren verwendet der Zusatzkondensator als

den Druckschwankungen folgende Platte eine 2 mm dicke, fest eingespannte Stahlscheibe von 5 cm Durchmesser. Die ihr gegenüberstehende andere Platte ist auf einem isolierenden Körper aus Marmor befestigt. Ein Kanal, der durch den der Befestigung auf dem Zylinderkopf dienenden Gewindestutzen führt, stellt die Verbindung zum Druckraum unter der Scheibe her. Das Indikatorschaltschema ist in Abb. 3 gegeben. Der gestrichelt angedeutete Kondensator ist der in Abb. 4 gezeigte Meßkondensator. Registriert wird, wie das Schema andeutet, mit Hilfe eines Oszillographen (Osz). Zwischen Oszillograph und Schwingkreis liegen zwei parallel geschaltete Verstärkerröhren. Auch hier überzeugen die vom Verfasser reproduzierten Kurven, die an einem Indianmotorradmotor gewonnen wurden, von der außerordentlichen Brauchbarkeit des Ultramikrometers.

Damit ist die Verwendbarkeit des Geräts keineswegs erschöpft, doch fehlt für weitere Einzelheiten hier der Raum. Es mag nur noch angedeutet werden, daß das Gerät auch für genaue Messungen der Struktur des Windes (Böigkeit) sehr geeignet erscheint.

Wenn auch nach Erfindung des masselosen Relais, das die Dreielektrodenröhre darstellt, die vom Verfasser benutzte Meßmethode auf der Hand lag, ihre praktische vielseitige Erprobung und ihre einfache instrumentelle Durchbildung, die die Bezeichnung „Ultramikrometer“ mit Recht beanspruchen kann, ist ein nicht zu gering zu veranschlagendes Verdienst des Verfassers.

W. Keil.

Kathodenoszillograph.

Von D. Gábor. Forschungshefte der Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen, herausgegeben von Prof. A. Matthias, Berlin. Heft 1. Berlin, 1927. Verlag der Vereinigung der Elektrizitätswerke e. V.

In der modernen Elektrotechnik ist das Problem der schnellen Ausgleichsvorgänge zu außerordentlicher Bedeutung gelangt. Die Notwendigkeit, große Leistungen sicher zu schalten und die umfangreichen Verteilungsanlagen mit ihren immer höher werdenden Übertragungsspannungen vor gefährlichen Überspannungen zu schützen, hat den Anstoß zu zahlreichen Untersuchungen gegeben. Das Meßgerät, das berufen ist, die schnellsten elektrischen Vorgänge aufzuklären, die bisher nur der spekulativen Behandlung zugänglich zu sein schienen, ist der Kathodenoszillograph. Die Ausbildung dieses Instrumentes ist in Deutschland besonders an zwei Stellen erfolgt, in Aachen durch Rogowski und seine Schüler und in Berlin durch die Studiengesellschaft für Höchstspannungsanlagen. In ihrem 1. Forschungsheft berichtet D. Gábor über seine Wanderwellenmessungen mit dem Kathodenoszillographen.

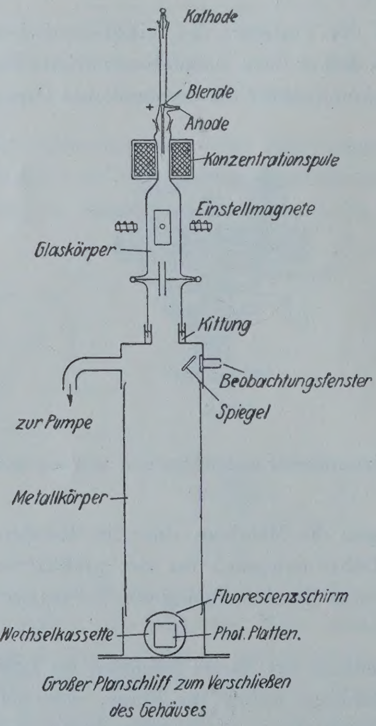


Abb. 1. Schema des Kathodenoszillographen.

Im Prinzip ist der Kathodenoszillograph eine Abart der vielfach benutzten Braunschen Röhre, in deren Vakuumraum eine lichtempfindliche Platte eingebracht ist. Auf diese Platte schreibt der Oszillograph den zeitlichen Verlauf der untersuchten elektrischen Größe mittels eines konzentrierten Kathodenstrahlbündels unmittelbar auf. Abb. 1 zeigt das Schema der Anordnung. Der Strahl wird in der Entladungsröhre durch eine passende Gasentladung (oder auch mittels Glühkathode) erzeugt. Die Erregerspannung der Röhre beträgt etwa 50 kV. Durch eine Blende in der Anode wird ein feines Bündel erzielt, das durch eine Konzentrationsspule zusammengehalten wird. Hiernach durchlaufen die Elektronen eine weite Röhre mit den beiden Plattenpaaren zur Ablenkung dem einen Paar für die Meß- oder Ordinatenablenkung, dem anderen für die Zeit- oder Abszissenablenkung. An das Rohr mit den Ablenkungssystemen schließt sich ein zweites Metallrohr, das mit der Anode geerdet und daher feldfrei ist. Diesen Raum durchläuft der Elektronenstrahl geradlinig, bis er auf die den Verschluß bildende

Kassette mit den photographischen Platten trifft. An deren Stelle kann auch ein Fluoreszenzschirm angebracht werden, der durch Fenster und Spiegel von außen beobachtbar ist.

Ehe der Apparat zu einem brauchbaren Meßgerät wurde, war eine Fülle von Sonderaufgaben zu lösen, von denen hier nur eine herausgegriffen sei: Der Kathodenstrahl muß da sein, wenn der Vorgang beginnt und muß sich etwas früher oder gleichzeitig mit ihm in Bewegung setzen, damit eine auseinandergezogene Kurve erhalten wird. Man bedenke, daß Wanderwellen auf Freileitungen etwa mit Lichtgeschwindigkeit laufen, für den Maßstab gilt also 10^{-6}s gleich einer Länge von 300 m. Ausreichende Geschwindigkeit in der Zeitrichtung ist also nur dann zu erreichen, wenn die Bewegung durch den Kathodenstrahl selbst ausgeführt wird. Das gleichzeitige Einrücken der Zeitablenkung mit dem Beginn des oszillographierten Vorgangs wird auf elektrischem Wege durch ein „Kipprelais" bewirkt, eine vom Meßvorgang gesteuerte Anordnung von Elektronenröhren, durch die ein Kondensator, dem das Zeitablenkungsplattenpaar parallel geschaltet ist, mit konstanter Geschwindigkeit entladen wird. Der Kathodenstrahl bewegt sich daher in der Abszissenachse aus der Anfangslage, die dem geladenen Kondensator entspricht, mit nahezu konstanter Geschwindigkeit bis zur Endlage, wo der Kondensator entladen ist. Gleichzeitig bewirkt der Meßvorgang an dem anderen Ablenkungsplattenpaar, daß der Kathodenstrahl auch in Ordinatenrichtung sich bewegt, so daß eine Kurve entsteht.

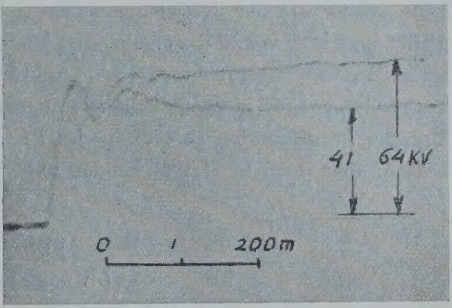


Abb. 2. Beispiel einer Wellenaufnahme.

Zahlreiche Untersuchungen sind mit dem Kathodenoszillographen bereits an Überspannungsschutzapparaten vorgenommen worden. Die Abb. 2 zeigt ein Beispiel von Aufnahmen einer Wanderwelle, wie sie an einer Leitung entstand, wenn diese ungeschützt war und wenn sie mit einem Widerstandsableiter ausgerüstet wurde. Zur Klarstellung sei erwähnt, daß die hier angewandten hohen Betriebsspannungen nicht direkt am Meßgerät liegen. Den Meßablenkungsplatten wird nur eine Teilspannung, z. B. $^{1}/_{100}$ der Gesamtspannung zugeführt. Besonders hierzu entwickelte Spannungsteiler sorgen dafür, daß das erhaltene Bild den Vorgang getreu wiedergibt. *R. Vieweg.*

Über Nivellementsfestpunkte der Trigonometrischen Abteilung des Reichsamts für Landesaufnahme.

Von F. Berndt. *Mitteil. d. Reichsamts f. Landesaufn.* **3.** *S. 85. 1927/28.*

Da die von geübten Beobachtern mit den besten Instrumenten nach erprobten Verfahren ausgeführten Hauptnivellements nur dann einen bleibenden Wert haben, wenn die von ihnen erfaßten Punkte einwandfrei und zweckentsprechend in der Natur festgelegt sind, so erfordert die Festlegung der Nivellementspunkte größtes Interesse; der vorliegende Bericht ist deshalb besonders beachtenswert.

Die Trigonometrische Abteilung der früheren Preußischen Landesaufnahme hat ihre Nivellementspunkte bis zum Jahre 1907 durchweg oberirdisch festgelegt; da die Erfahrung gezeigt hatte, daß bei dieser Art der Punktfestlegung die Verluste und Beschädigungen sehr groß sind, so ging die Abteilung zu dem angegebenen Zeitpunkt bei den Hauptpunkten zur unterirdischen Festlegung über. Bei der dabei gewählten Anordnung liegt der eigentliche, durch eine Achatkugel in einem Bronzebolzen bezeichnete Höhenpunkt etwa 0,5 m unter der Erdoberfläche; der Bronzebolzen ist in eine 30 auf 30 cm starke und 90 cm hohe Granitsäule eingelassen, die auf einer 60 auf 60 cm großen, rund 10 cm dicken Granitplatte ruht; die Achatkugel hat 20 mm Durchmesser und wird durch einen aufschraubbaren Bronzedeckel und außerdem durch einen auf die Steinsäule aufsetzbaren Granitdeckel geschützt.

Unterirdisch festgelegt wurden unter Verwendung von entsprechend größeren Granitquadern insbesondere die fünf im Jahre 1912 geschaffenen Nivellementspunkte an der Straße Berlin — Manschnow,

von denen der mittlere den neuen Normalhöhenpunkt vorstellt an Stelle des durch den Abbruch der alten Berliner Sternwarte eingegangenen Normalhöhenpunkts von 1879.

Im Gegensatz zu der früheren Gepflogenheit, bei der die Nivellementspunkte in der Hauptsache in gleichen Abständen gewählt wurden, wird bei der Anlage der Punkte seit 1907 insbesondere Wert auf die geologischen Verhältnisse gelegt, so daß die Punkte nicht mehr auf aufgeschütteten Dämmen oder in sumpfigem Gebiet liegen.

Wie die Erfahrung zeigt, treten bei Nivellementspunkten trotz aller Vorsichtsmaßregeln immer wieder Bewegungen auf; diese können bei unterirdisch festgelegten Punkten entweder von örtlich eng begrenzten Ursachen oder von örtlich nicht begrenzten, d. h. auf ein größeres Gebiet sich erstreckenden Ursachen herrühren. Um die Art der Ursache einer Höhenveränderung rasch und sicher feststellen zu können, halte ich es für notwendig, daß man — wenigstens bei Hauptpunkten — an Stelle von nur einem Punkt eine Gruppe von drei, unter sich unabhängigen Punkten anbringt; dabei müssen diese Punkte so gewählt werden, daß ihre Höhenunterschiede mit einer Aufstellung des Instruments und gleichen, nicht mehr als 50 m großen Zielweiten bestimmt werden können. Eine solche Art der Festlegung würde sich besonders empfehlen bei dem „Normalhöhenpunkt von 1912“ und den vier ihn umgebenden Festpunkten. Die bei dem neuen Normalhöhenpunkt auf demselben Pfeiler angebrachten Nebenpunkte erlauben wohl ein Kippen des Pfeilers festzustellen; die Feststellung einer nicht unbedingt mit einem Kippen verbundenen, von einer örtlich eng begrenzten Ursache herrührenden Bewegung des Pfeilers läßt sich am einfachsten mit Hilfe von zwei benachbarten, aber doch in einiger Entfernung liegenden Punkten der angegebenen Art bestimmen.

P. W.

Ein neuer Mikroskop-Theodolit.

(Un nouveau théodolite à microscopes.)

Von G. Perrier. *Revue d'Optique* **7.** *S. 28. 1928.*

Der beschriebene Theodolit ist ein nach den Forderungen des Verfassers von Chasselon gebautes Universalinstrument mit Schraubenmikroskopablesung an beiden Kreisen. Das Instrument ist einachsig; die beiden verdeckten Kreise können je nach Lösen einer Schraube von Hand gedreht werden. Der Durchmesser des Horizontalkreises ist 22 cm, der des Vertikalkreises 18 cm; die Teilungseinheit beträgt bei beiden Kreisen 20', die Angabe der Mikroskope 8''. Die Ablesestellen der beiden Kreise sind mit elektrischen Beleuchtungsvorrichtungen versehen. Das zwischen seinen Trägern angeordnete durchschlagbare Fernrohr hat ein Objektiv mit 30 cm Brennweite und 50 mm Öffnung. Okulare sind für 20, 30 und 40fache Vergrößerung vorhanden. Der Okularkopf ist mit einem horizontal wirkenden Fadenmikrometer ausgerüstet. Das Gesichtsfeld des Fernrohrs kann elektrisch beleuchtet werden. Libellen hat das Instrument zwei; eine feste, am Fernrohrträger angebrachte Alhidadenlibelle und eine Reitlibelle auf der Kippachse. Eine mit den Mikroskopen des Vertikalkreises verbundene Libelle mit besonderer Einstellschraube ist offenbar nicht vorhanden; es ist dies besonders deshalb eigentümlich, da das Instrument nicht nur für geodätische Messungen im Netz 2. und 3. Ordnung, sondern auch für astronomische Messungen benutzt werden soll. *P. W.*

Über die Verstimmung belasteter Stimmgabeln.

(On the „mistuning“ of weighted forks.)

Von W. R. Miles. *Journ. Scient. Instr.* **5.** *S. 152—154. 1928.*

Da an den mit Beschwerungsgewichten versehenen Stimmgabeln — Gabeln, die aus verschiedenen Gründen in der physikalischen Praxis benutzt werden — eine Einrichtung, die Gewichte empfindlich einzustellen, meist nicht vorgesehen ist, hat der Verfasser untersucht, ob aus diesem Umstand ein beträchtlicher Fehler entstehen kann. Unter Benutzung einer von Dodge bereits 1915 beschriebenen Registrierkamera hat er eine Versuchsanordnung zusammengestellt, bei der die schwingenden Gabelzinken die Platte zur Belichtung freigeben. Zwei Reihen von Schwingungsregistrierungen, die er von Gabeln, deren Zinken ungleich beschwert wurden, aufgenommen hat, sind in der Quelle wiedergegeben. Dabei sind Aufzeichnungen aufgenommen worden von Gabeln, bei denen die Unterschiede in den Schwingungszahlen der Zinken bis zu 22 betragen. Während die Zinken innerhalb weiter

Grenzen gleichmäßig schwingen, zeigt es sich, daß die langsamer schwingende Zinke geringere Amplitude aufweist. Veränderungen an der Lage des Beschwerungsgewichtes äußern sich deutlich in der Dauer des Tönens.

Vier nach Art der Heugabel angeordnete zusammen schwingende Zinken zeigen Schwebungen und verhalten sich merklich anders als die gewöhnlicher Stimmgabeln.

Da eine die Textbeschreibung ergänzende Skizze der Apparatur fehlt, muß auf Einzelheiten hier verzichtet werden. Einer quantitativen Behandlung wird das Problem aber auch durch die Registriermethode noch nicht recht näher gebracht. *W. Keil.*

Einige noch unbestellte Gebiete der Optik.

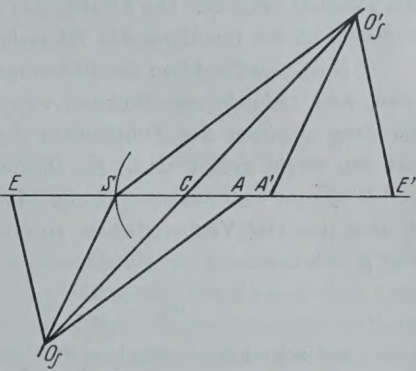
(Some uncultivated optical fields.)

Von T. Smith, *Presidential Adress* vom 10. Febr. 1927; *Trans. Opt. Soc.* **28.** *S. 225—284. 1926/27.*

Die Abhandlung besteht aus einer Einleitung, die sich auf die — in England — mangelhafte Zusammenarbeit zwischen Wissenschaft und Praxis bezieht, und zwei Hauptteilen von ungleicher Länge.

Im ersten, kürzeren Teil wird das Zeichenverfahren besprochen, auf die Mängel der auf der Kollineation beruhenden Durchzeichnungen verwiesen und angegeben, wie die einander bei der sagittalen Abbildung entsprechenden Punkte zu finden sind.

Für eine einzelne Kugelfläche gibt Smith für den Fall, daß die Blende auf der Fläche liegt, folgendes Verfahren an: Es sei $O_f S O_f'$ ein Strahl, der in S gebrochen wird, C der Mittelpunkt; ist dann $O_f C O_f'$ eine Gerade, so ist O_f' das sagittale Bild von O_f, und die sagittale Vergrößerung wird $\beta_f = CO_f' / CO_f$. Es soll nun im Ding- und Bildraum der geometrische Ort derPunkte gefunden werden, die die gleiche Vergrößerung β_f haben. Smith beweist, daß dies so möglich ist: Ziehe $O_f A \,||\, S O_f'$, $O_f' A' \,||\, S O_f$ (A, A' auf der Geraden SC, der „Achse"), mache $S O_f E = A' O_f' E' = E S O_f' = i'$, also $E O_f A = S O_f' E' = \cdot E S O_f = i$ (E, E' auf der Achse), so sind die gesuchten Örter Kugeln um E und E' mit den Halbmessern $E O_f$ und $E' O_f'$. Für die Lage von E und E', wiefür die Halbmesser leitet Smith Beziehungen ab, die sich schreiben lassen:



$$SE = -\left(1 - \frac{1}{\beta_f}\right) \frac{n^2}{n'^2 - n^2}\, r, \quad E O_f = \left(1 - \frac{1}{\beta_f}\right) \frac{n n'}{n'^2 - n^2}\, r.$$

$$SE' = \quad (1 - \beta_f) \frac{n'^2}{n'^2 - n^2}\, r, \quad E' O_f' = (1 - \beta_f) \frac{n n'}{n'^2 - n^2}\, r.$$

Hiernach kann man die entsprechenden Kugeln für verschiedene β_f zeichnen. Beispielsweise gibt $\beta_f = \infty$ auf der Dingseite eine Brennkugel, ebenso $\beta_f = 0$ auf der Bildseite, die Halbmesser beider Kugeln sind $\frac{n n'}{n'^2 - n^2}\, r$. Smith untersucht die Kugeln für verschiedene Grenzflächen Luft-Glas ($n = 1$, n' verschieden) und bemerkt, daß die bildseitige Kugel zu C dieselbe Lage hat, wie die dingseitige zu S. $\beta_f = 1$ gibt die brechende Fläche als ding- und bildseitige Hauptkugel, $\beta_f = -1$ die negativen Hauptkugeln usf. — Smith verweist sodann darauf, daß die Abweichungen sich in der Änderung der Lage der geometrischen Orte bei andrer Blendenlage zeigen.

Für eine Linse nimmt Smith ebenfalls eine besondere Blendenlage an. Denkt man sich den Abstand der beiden Mittelpunkte $C_1 C_2$ außen und innen so geteilt, daß

$$R C_1 : R C_2 = C_1 S : S C_2 = r_1 : r_2$$

ist, so hat einer der beiden Punkte R die Eigenschaft, daß die Ablenkung an beiden Flächen entgegengesetzt gleich ist, — der optische Mittelpunkt der Linse; im andern, S, sind die Ablenkungen gleich und von demselben Vorzeichen. Laufen die Hauptstrahlen im Glase durch S, dann kann man die Flächen mit der Vergrößerung $\beta_f = 1$ so zeichnen, daß man die Kugel durch R und S mit dem Mittelpunkte auf der Achse ding- und bildseitig abbildet, sie weichen meist wenig von Kugeln ab.

Um auf jedem Hauptstrahl noch einen zweiten Punkt zu erhalten, nimmt Smith im Glase einen unendlich fernen Schnittpunkt an, dann sind auf Ding- und Bildseite die beiden Brennflächen zu zeichnen, und r ist das Verhältnis beider Halbmesser, da für durch S gehende Strahlen die Winkel an den Flächen gleich sind. Da S außerhalb der Flächen liegt, so gibt Smith ein mechanisches Verfahren zum Zeichnen der Brennflächen an — nach Meinung des Berichtenden ist ein Versehen (Zeichnung von Parallelen) unterlaufen; es wird der Fall dadurch auf den frühern zurückgeführt, wo die Blende auf der Fläche lag.

Da für die sagittale Abbildung die Regel der Kollineation gilt, lassen sich aus den beiden bestimmten Paaren auf jedem Hauptstrahl weitere Paare und damit auch Ding- und Bildflächen für ein gegebenes β_f bestimmen. Linsen mit einer ebenen Grenzfläche sind besonders zu behandeln.

Der zweite Teil der Arbeit gehört zu einer größeren Reihe von Aufsätzen, in denen Smith die Anwendung der Hamiltonschen charakteristischen Funktion oder des Brunsischen Eikonals behandelt. Über eine Anzahl dieser Artikel habe ich in der *Centralz. f. Opt. u. Mech. (1925. Bd. 46)* berichtet. Es sei hier erwähnt, daß der Zusammenhang der Seidelschen Fehler mit den Koeffizienten der Eikonalentwicklung, die Änderung beider durch Verschiebung von Gegenstand und Blende, die Zusammensetzung mehrerer Folgen, endlich auch die Hebung der Fehler erster Ordnung behandelt worden sind.

Im vorliegenden Aufsatze wird zunächst an die Begriffe der charakteristischen Funktion und des Eikonals erinnert. Die Ableitungen sind wohl absichtlich nicht immer ganz streng gehalten. Das Ergebnis ist die Definition des Eikonals E:

E ist eine Funktion der Richtungskosinus $L, M, N; L', M', N'$ des Strahls auf Ding- und Bildseite, oder vielmehr nur Funktion von vier unabhängigen Veränderlichen M, N, M', N'. Sie ist der Lichtweg zwischen den Fußpunkten der Lote, die in Ding- und Bildraum vom Koordinatenanfang auf den Strahl gefällt sind. Im allgemeinen besteht zwischen den Koordinatensystemen im Ding- und Bildraum kein Zusammenhang, häufig hat eine besondere Wahl ihre Vorteile. Differentiiert man E nach den vier Veränderlichen, so erhält man die Koordinaten der Schnittpunkte des Strahls mit den $y\,z$ Ebenen.

$$n y = \frac{\partial E}{\partial M}, \quad n z = \frac{\partial E}{\partial N}; \quad n' y' = -\frac{\partial E}{\partial M'}, \quad n' z' = -\frac{\partial E}{\partial N'}.$$

Bei achsensymmetrischen Flächenfolgen wählt man am besten die Achse zur X-Achse beider Koordinatensysteme. E ist dann eine gerade Funktion der drei Größen

$$\tfrac{1}{2}(M^2 + N^2) = a, \qquad M M' + N N' = b, \qquad \tfrac{1}{2}(M'^2 + N'^2) = c.$$

Die Differentialquotienten von E nach a, b, c (E_a, E_b, E_c) stehen in enger Beziehung zu den sagittalen Brennpunkten. Diese liegen auf dem Strahle, um die Strecken $-\frac{E_a}{n}$ und $\frac{E_c}{n'}$ von den Ebenen $x = 0$ und $x' = 0$ entfernt, die sagittalen Brennweiten sind:

$$n' f_f = -n f_f' = -E_b.$$

Hier ist $E_a = \frac{\partial E}{\partial a}$ usf. (Bei Smith eine Verwechselung der Brennweiten.) Für die tangentialen Brennpunkte und Brennweiten kommen schon die zweiten Differentialquotienten E_{aa} usf. in Frage. Man hat für die Abstände der Brennpunkte von den Bezugsebenen längs des Strahls:

$$-\frac{L^2}{n}(E_a + 2a\,E_{aa} + 2b\,E_{ab} + 2c\,E_{bb}) \text{ und } \frac{L'^2}{n'}(E_c + 2a\,E_{bb} + 2b\,E_{bc} + 2c\,E_{cc}),$$

für die tangentialen Brennweiten:

$$n' f_t = -n f_t' = -L L' (E_b + 2a\,E_{ab} + b\,E_{bb} + b\,E_{ac} + 2a\,E_{bc}).$$

Es ist zu erkennen, wie für $M = N = M' = N' = 0$ hieraus Brennpunkte und Brennweiten auf der Achse abzuleiten sind.

Will man die Bezugsebenen $(x = 0)$ ändern, so ändert sich das Eikonal in leicht anzugebender Weise. Häufig ist es von Vorteil, als Bezugsebene im Bildraum das Gaußische Bild der Bezugsebene des Dingraumes zu nehmen, besondere Wahl der zugehörigen Vergrößerung kann weitere Vorteile bieten. Zu beachten ist, daß das Eikonal gemäß der obigen Bemerknng nicht etwa der Lichtweg zwischen zwei entsprechenden Punkten ist, doch ist dieser leicht daraus abzuleiten.

Smith wiederholt sodann die Ableitung einer früheren Arbeit: Es seien S, G die Vergrößerungen für die Eintrittspupille und den Gegenstand. Man führe neue Veränderliche A, B, C ein:

$$(S-G)^2 A = a - Gb + G^2 c\,,$$
$$(S-G)^2 B = 2a - (S+G)\,b + 2\,SGc\,,$$
$$(S-G)^2 C = a - Sb + S^2 c\,,$$

nehme als Bezugsebenen im Ding- und Bildraum die Ebenen mit der Vergrößerung G, so wird für diese die Abbildung abweichungsfrei sein, wenn E nur Funktion von A, nicht auch von B und C ist.

Die folgende Zeichnung sagittaler Bildflächen ist dem Berichtenden unverständlich geblieben.

Es folgt die Ableitung des Eikonals einer einzelnen Fläche. Das Eikonal auf Ding- und Bildseite sowie die Flächengleichung

$$f\,(x, y, z) = 0$$

seien auf denselben Koordinatenanfang bezogen. Die Flächengleichung mache man, falls notwendig, wie es in der Differentialgeometrie geschieht, homogen durch Einführung der Längeneinheit als einer Hilfsveränderlichen:

$$f\,(a, x, y, z) = 0$$

und bilde die Differentialquotienten

$$f_a\,(a, x, y, z),\quad f_x\,(a, x, y, z),\quad f_y\,(a, x, y, z),\quad f_z\,(a, x, y, z)\,.$$

Aus diesen vier homogenen Funktionen kann man die Verhältnisse $a:x:y:z$ eliminieren:

$$\Phi\,(f_a, f_x, f_y, f_z) = 0\,.$$

Dann ist das Eikonal E definiert durch die Gleichung

$$\Phi\left(\frac{E}{a}, \mathfrak{L}, \mathfrak{M}, \mathfrak{N}\right) = 0\,,$$

wobei $\mathfrak{L} = n'L' - nL$, $\mathfrak{M} = n'M' - nM$, $\mathfrak{N} = n'N' - nN$ ist.

Für die Kugelfläche $x^2 + y^2 + z^2 - r^2 = 0$ ist beispielsweise

$$E = r\,(\mathfrak{L}^2 + \mathfrak{M}^2 + \mathfrak{N}^2)^{1/2}\,.$$

Umgekehrt kann auch, wenn die Form des Eikonals in Gestalt einer homogenen Funktion von $\mathfrak{L}, \mathfrak{M}, \mathfrak{N}$ gegeben ist, eine Fläche gefunden werden, an der die Brechung stattfindet. Das Eikonal einer Linse kann additiv gefunden werden; da jedoch bei der angegebenen Regel die Bezugspunkte für beide Flächen nicht zusammenfallen, ist noch ein Zusatzglied nötig. Smith gibt Formeln und zeigt unter anderm einiges über den Einfluß von Dicke und Umbiegung einer nicht als unendlich dünn zu betrachtenden Linse.

Es folgen noch zwei Anhangsabschnitte. Im ersten werden einige Bemerkungen über das Zusammenwirken der verschiedenen Arten von Abweichung und die zweckmäßigste Ausgleichung gemacht. Der letzte bespricht Möglichkeiten, von dünnen Linsen gegebener Eigenschaften in geeigneter Weise zu dickeren fortzuschreiten. *H. Boegehold.*

Die Untersuchung einer Linse durch das Zeichenverfahren.

(Investigation of a lens by graphical methods.)

Von J. P. C. Southall. *Journ. Opt. Soc. of Amer.* **17.** *S. 1—14. 1928.*

Der Verfasser knüpft an die Bemerkungen von T. Smith im ersten Teile des hier *S.* 619 besprochenen Aufsatzes an. Southall verweist darauf, daß man für einzelne Hauptstrahlen die sagittalen Brennpunkte sowohl, wie auch die Punkte von vorgeschriebener sagittaler Vergrößerung durch Konstruktion der rechnerisch gewonnenen Werte erhalten kann. Die Ausführung für eine genügende Anzahl Strahlen gibt dann die gesuchten Flächen im Ding- und Bildraume.

H. Boegehold.

Bordgeräte im Verkehrsflugzeug.

Von M. Mäder, *Zeitschr. d. Ver. Deutsch. Ing.* **72.** *S. 1426—1434. 1928.*

In dem mehr allgemeinverständlich gehaltenen Aufsatz in dem aus Anlaß der internationalen Luftfahrtausstellung in Berlin (Okt. 1928) unter der Sonderüberschrift „Luftfahrt" erschienenen Heft 40 der genannten Zeitschrift behandelt der Verfasser die Anforderungen, technischen Fortschritte und die Entwicklungswege von Bordgeräten für Verkehrsflugzeuge. Er will insbesondere

zur Mitarbeit an den Aufgaben, die auf diesem Gebiet der Meß- und Meßgerätetechnik noch der Lösung und der Verbesserung bedürfen, anregen.

Von den zahlreichen Geräten, die der Verfasser nennt, deren Vor- und Nachteile, Zuverlässigkeit und Genauigkeit er diskutiert, die zum großen Teil auf bekannten und naheliegenden physikalischen Grundsätzen beruhen und in ihrer konstruktiven Ausbildung den besonderen Meßbedingungen gerecht werden, sollen hier nur zwei ebenso neuartige wie sinnreiche Anordnungen beschrieben werden. Beide sind sie von den Askania-Werken, die den Bau von Luftfahrtinstrumenten seit einigen Jahren angelegentlich pflegen, entwickelt worden.

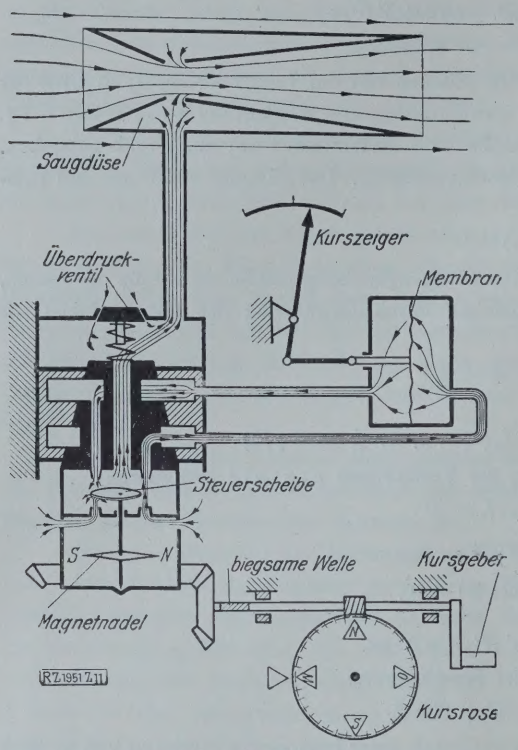


Abb. 1. Fernkompaß.

Das eine Gerät nennt sich Fernkompaß und ist ein Magnetkompaß mit Differenzdruck-Fernanzeige. Das Schema der Anordnung der empfindlichen Organe sowie des Übertragungsmechanismus ist aus Abb. 1 zu ersehen.

In einem Gehäuse, das mit zwei Einlaßdüsen und zwei Ausströmdüsen versehen ist und mittels des festen Kegelradkranzes und des Kegelrades durch die Kurbel verdreht werden kann, schwingt das Magnetsystem. Eine Schnecke, die mit der Kurbelachse fest verbunden ist, greift in das Schneckenrad, das die Kursrose trägt, ein. Durch Drehung der Kurbel kann somit ein beliebiger Teilstrich der Kursrose gegen die den Steuerkurs festlegende Marke verstellt werden. In einer unmittelbar oberhalb des Kompaßgehäuses angeordneten Kapsel folgt eine auf der Achse des Magnetsystems befestigte exzentrische Scheibe den Schwingungen des Magnetsystems. Diese exzentrische Scheibe, die sogenannte Steuerscheibe gibt je nach ihrer Stellung den durch die Einlaß-Düsen eintretenden Luftstrom den Weg zu den ihnen gegenüber mündenden Druckmesserdüsen frei, oder verlegt ihn. Von den Druckmesserdüsen führen Rohrleitungen zu der durch eine Membran geteilte Kammer, die den Druckmesser darstellt.

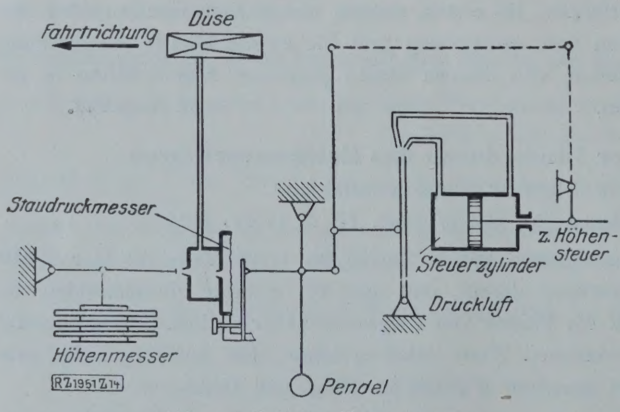


Abb. 2. Selbsttätige Höhensteuerung.

Durch die Bewegungen der Membran wird über ein Hebelwerk der Kurszeiger, der über einer Skala spielt und mit seinen Abweichungen von der Mittelstellung die Abweichungen des geflogenen Kurses vom Steuerkurs anzeigt, verstellt. Die Verstellung der Membran wird durch die in der Kammer auftretende Druckdifferenz bewirkt, die ihrerseits zwangsläufig durch die Stellung der Steuerscheibe zu den Düsen bedingt wird. Den erforderlichen Druck erzeugt ein Venturirohr, das an geeigneter Stelle am Luftfahrzeug angebracht wird, dessen Saugdüse mit der Kompaßübertragung durch eine dünne Rohrleitung verbunden ist. Die Benutzung der Fernkompaßanlage erfordert in jedem Falle, daß man vorher mit Hilfe der Kurbel in dem gewünschten an der Kursrose kontrollierbarem Ausmaße das Düsengehäuse gegen das Magnetsystem und die mit diesem starr verbundene Steuerscheibe verdreht und dadurch auf den Steuerkurs einstellt. Der Pilot hat

dann im Fluge den wesentlichen Vorteil, daß er durch geeignet zu bemessende Ausschläge, die er dem Seitensteuer erteilt, nur den Kurszeiger auf Mittelstellung zu bringen braucht, um den gewünschten Kurs zu fliegen. Die Einfachheit der Apparatur, die in hohem Maße Betriebssicherheit verspricht, da sie nur mit mechanischen Mitteln arbeitet, überrascht ebenso sehr wie sie besticht.

Die zweite neuartige Apparatur stellt eine selbsttätige Höhensteuerung dar, die bisher nur im Entwurf fertiggestellt zu sein scheint. Die Einrichtung soll den Flugzeugführer von der Dauerarbeit am Steuer entlasten. Naturgemäß setzt sie ein weitgehend eigenstabiles Flugzeug voraus. Es handelt sich hier darum, die zur Betätigung der Steuerorgane des Flugzeuges erforderliche Energie in dem Ausmaße, wie es den durch die äußeren Umstände bedingten Abweichungeu von der Höhenlage des Fluges (Sollflughöhe) entspricht, zu regeln.

Die schematische Zeichnung in Abb. 2 läßt erkennen, daß hier ein Pendel, ein Höhenmesser und ein Staudruckmesser, bestehend aus einer Venturidüse und Druckwirkungsorgan zu gemeinsamer Wirkung auf das Höhenruder verbunden sind. Als Steuerrelais dient eine von den Askania-Reglern her bekannte Strahldüse, aus der Druckluft ausströmt. Der Strahldüse gegenüber münden zwei Rohre, die zu einem Steuerzylinder führen, in dem sie je vor und hinter dem Steuerkolben enden.

Steht die Strahldüse so, daß beide Rohrmündungen gleichviel Druckluft aufnehmen, dann bleibt der Steuerkolben, der mit dem Höhenruder in Verbindung steht, in Ruhe.

Diese Stellung (Nullage) entspricht der an dem empfindlichen Höhenmesser, einem Statoskop, eingestellten Flughöhe und dem dieser Höhe beim Horizontalflug entsprechenden Staudruck und der vom Staudruck unabhängigen für den Horizontalflug charakteristischen Längsneigung, die das Pendel anzeigt. Auf Abweichungen von der normalen Flughöhe und der für diese und den Horizontalflug charakteristischen Fluglage sprechen diese empfindlichen Organe an und verstellen die Strahldüse gegenüber den erwähnten Rohrmündungen so, daß der Steuerkolben im Zylinder sich verschiebt und das Höhenruder in dem zur Korrektur der Abweichungen von der Sollhöhe erforderlichen Ausmaße zum Ausschlag bringt. In der Fachsprache ausgedrückt bewirkt die Anordnung demnach, daß bei Zunahme des Staudruckes, d. h. beim Abwärtsflug das Flugzeug „gezogen“ wird, bei Abnahme des Staudruckes, d. h. beim Steigen über die Sollhöhe, „gedrückt“ wird.

Während der Fernkompaß mit pneumatischer Übertragung seine Brauchbarkeit schon vielfach und eindringlich bewiesen hat u. a. auch auf dem Ozeanflug der „Bremen“, kann über die praktische Bewährung der selbsttätigen Höhensteuerung aus der vorliegenden Arbeit nichts entnommen werden, da sie sich noch im Entwicklungsstadium befindet. Sie bedeutet aber auf jeden Fall einen erheblichen Fortschritt, ebenso wie die vom Verfasser nur kurz erwähnte Einrichtung von Boykow, die nicht nur das Flugzeug stabilisieren, sondern auch die Bewegungen des Flugzeuges um die zu stabilisierende Achse dämpfen will. *W. Keil.*

Bücherbesprechungen.

F. Auerbach und **W. Hort,** Handbuch der physikalischen und technischen Mechanik. Leipzig 1928. Joh. Ambr. Barth, Bd. I, 2. Lief. 8°. VIII, S. 307—694, m. 303 Abb. Subskr.-Pr. 30,— RM.

Von den geplanten 14 Lieferungen dieses umfangreichen Handbuches sind jetzt 8 erschienen. Das Werk soll bis spätestens Mitte 1929 abgeschlossen vorliegen mit einer notgedrungenen Überschreitung des anfangs in Aussicht genommenen Umfanges.

Die neue Lieferung bringt grundlegende Abschnitte der allgemeinen Mechanik, so die Prinzipien der Mechanik von M. Winkelmann, Geometrie der Massen von R. Skutsch, Kinematik der Schwingungen und Wellen von F. Auerbach; daneben die technisch wichtigen Kapitel über geometrische Bewegungslehre und über Zwanglaufmechanik von R. Beyer, allgemeine und graphische Statik starrer Körper von H. Reißner, sowie die Statik und Kinematik der einfachen Maschinen von P. Stephan. *G.*

Wilhelm Müller, Mathematische Strömungslehre. 8°. IX u. 239 S. m. 137 Abb. Berlin 1928, Julius Springer. Preis 18,— RM., geb. 19,50 RM.

In dem vorliegenden Werke brennt das ganze Brillantfeuerwerk der Mathematik ab zur festlichen Beleuchtung der mannigfaltigsten Strömungsvorgänge. Wir sehen die Strömung um feste Körper,

die Stromfelder mit freien und gebundenen Wirbeln, den Einfluß der Zirkulation und Wirbel auf den Strömungsdruck an zylindrischen Körpern, die Strömung um Tragflächen, an Propellern, in Kreisel- und Turbinenrädern. Dazwischen kommen „Zeitlupenaufnahmen“ und „Bilder aus der Werkstatt“ in Gestalt der Grundgesetze der Strömungslehre, der funktionentheoretischen Hilfsmittel und der Methode des unstetigen Potentials. Das ganze Programm und seine Abwicklung ist ein ästhetischer Genuß, den man sich möglichst oft wiederholen sollte, denn bei der Beleuchtung der Strömungslehre und Strömungserscheinungen ist von ungeheurer Bedeutung, sämtliche Register und ihre Auswirkungen genau zu kennen, um erfolgreich an die Reparatur aller „Versager“ zu gehen, die in Müllers Buch schützende Finsternis umhüllt. *Franz Levy.*

K. Giebel, Das Pendel. 8°. IV, 190 S. m. 107 Abb. Verlag des Zentralverb. d. Deutschen Uhrmacher E. V. Halle a. S., 1928. Geb. 6,— RM.

Der Direktor der Deutschen Uhrmacherschule in Glashütte hat seine ursprünglich in der *Uhrmacherkunst* veröffentlichte Aufsatzreihe über das Pendel jetzt in Buchform erscheinen lassen und sie damit weiteren Kreisen zugänglich gemacht.

Wir sehen den Vorzug des wohlfeilen und doch gut ausgestatteten Buches gerade darin, daß es in erster Linie für den Uhrmacher bestimmt ist und somit den allgemein technisch interessierten Leser auf die besonders wichtige praktische Verkörperung der Pendelgesetze hinweist.

Die unumgänglichen mathematischen und mechanischen Vorkenntnisse sind in anschaulicher und leichtfaßlicher Weise der Betrachtung der verschiedenen Grundformen des Pendels und der zahlreichen Störungseinflüsse vorausgeschickt. *G.*

Strömungsmesser-Ausschuß beim Verein deutscher Ingenieure.

Um die Genauigkeit bei der Messung von Durchflußmengen flüssiger, dampf- oder gasförmiger Stoffe mehr als bisher den steigenden Anforderungen des technischen Betriebes anzupassen und für eine Vergleichbarkeit der Meßwerte die bestgeeigneten Unterlagen zu schaffen, ist in diesem Monat beim Verein deutscher Ingenieure ein Strömungsmesser-Ausschuß (Geschäftsstelle: Berlin NW 7, Ingenieurhaus) eingesetzt worden. Dieser umgrenzte in seiner Gründungssitzung in München sein Arbeitsgebiet auf die Messung strömender Medien (Gase, Dämpfe und tropfbare Flüssigkeiten) mit Stauscheiben, Düsen und Schwimmermessern. Als letztes erreichbares Ziel wird die Schaffung einer für alle Medien gleich verwendbaren Mündungsform angestrebt. Zu diesem Zweck ist zunächst die einheitliche Festlegung der Begriffsbestimmungen, die Aufstellung der grundlegenden Gleichungen, sowie die Sammlung und der Ausbau des Versuchsmaterials vorgesehen. Eine Anregung, Strömungsmesser als eichfähige Instrumente im öffentlichen Gebrauch zuzulassen, wurde bereits seitens des Strömungsmesser-Ausschusses an die Physikalisch-Technische Reichsanstalt weitergegeben.

Mitteilung der Schriftleitung.

Dem vorliegenden Schlußheft des 48. Jahrganges unserer Zeitschrift ist das erste Heft der in zwangloser Folge neu erscheinenden „Forschungen zur Geschichte der Optik“ beigelegt.

Auch die Schriftleitung der Zeitschrift für Instrumentenkunde möchte ihre Freude darüber ausdrücken, daß durch die Opferwilligkeit der Firma Carl Zeiss die „Forschungen zur Geschichte der Optik“ erscheinen können. Sie wünscht den Herausgebern von Herzen Glück und spricht die Hoffnung aus, es möge ihnen gelingen, eine lange Reihe solcher zwanglosen Sonderhefte herauszubringen.

Gerade, weil der ihr für geschichtliche Arbeiten zur Verfügung stehende Raum einigermaßen beschränkt ist, begrüßt sie mit aufrichtiger Freude diese Förderung der Arbeit auf einem Gebiet, um dessen Bestellung sie sich von Anfang an nach Kräften bemüht hat. *Göpel.*

Nachdruck verboten.

Namen- und Sachregister.

Ackerl, F., Prüfg. d. Teilg. eines Wildschen Universaltheodolits 94. — Untersuchg. üb. die Genauigkeit des harmon. Analysators von Dr. O. Mader 375. — Untersuchg. der Teilung eines Wildschen Präzisionstheolits 517.

Akustik: Ein neuer Schallmesser f. d. Praxis, Barkhausen 46. — Registrierender Schallmesser u. seine Anwendungen, Gerlach 356. — Üb. die Verstimmung belasteter Stimmgabeln, Miles 618.

Albrecht, K., Zum Gedächtnis Eduard Dunckers 299.

Albrecht u. Wolff, Ein neuer Zähigkeitsprüfer (Viskosimeter) 249.

Amy, P., Beitrag zur Frage der Glasreflexion 307.

Arnulf, A., Vergleichg. der Deformation von Glas u. geschmolzenem Quarz unter der Einwirkung von Temperaturänderungen 308. — Erprobg. einiger einfacher Vorrichtungen z. Erkennung von Inhomogenitäten in opt. Glase 407.

Aschenbrenner, C., Das Entzerrungsgerät d. Konsortiums Luftbild Stereographik, Modell 1926 44.

Astronomie: Das Turmteleskop der Einsteinstiftung, Freundlich 48. — Ein neues Pyrheliometer, Paunow 90. — Vorrichtg. z. Verbreiterung von Sternspektren f. photometr. Zwecke, Meyermann 104. — Zweite Sammlung astronom. Miniaturen, Strömgren, Strömgren 310. — Leitfaden der astronom. Beobachtg., Gramatzki 461.

Auerbach, F., u. W. Hort, Handbuch der physikal. u. techn. Mechanik 410, 570, 623.

Ausstellungen: Das Luftbildwesen auf der Ila 1928 312, 463. — Ausstellg. „Elektrisches Messen". Neuzeitl. elektr. Meßgeräte u. ihr Werdegang 464.

Baltensperger, J., Die Polarkoordinatenmethode mittels opt. Distanzmessg. als Aufnahmeverfahren für Katastervermessungen 135.

Barkhausen, H., Ein neuer Schallmesser f. d. Praxis 46.

Baumgart, Die Vierundzwanzigstundenuhr m. Tages- u. Nachtzifferblatt 309.

Baxandall, D., *A telescope made by Christopher Cock in 1673* 49.

Beams, J. W., Methode z. Erzeugg. von Lichtblitzen gleichmäßiger Intensität u. kurzer Dauer 197.

Beck, C., Eine exakte Methode z. Bestimmung der Lage des Brennpunktes eines opt. Systems 307.

Bennett, A. H., s. Gardner.

Bennett, A. H., Die Verzeichnung einiger typ. photograph. Objektive 354

Berger, E., Drahtlose Fernsteuerung von Koinzidenzapparaten bei relativen Schweremessungen 366.

Bergtold, F., Ersatzschaltung für die Rückwirkung der Zunge des Resonanztelephons 400. — Kurzgefaßtes Handbuch der Elektrizitätszählertechnik 570.

Berndt, F., Über Nivellementsfestpunkte der Trigonometr. Abteilg. des Reichsamts für Landesaufnahme 617.

Berndt, G., Die Abplattg. von Stahlkugeln u. -zylindern durch den Meßdruck 422.

Biographie: Max Wolz †, Müller 101.

Blass, Ergebnisse d. Versuchsmessgn. m. einem 8-cm-Theodolit m. Schraubenmikroskopen 95. — Üb. eine Vergleichsstrecke bei Längenmessungen 138.

Bloch, E., s. L. Bloch.

Bloch, L., u. E. Bloch, Achromat. Linsen für das Ultraviolett 355

Bock, H., Die Schwingungsdauer der nicht ausgewuchteten Unruh 413.

Bock, R., Ein neuer magnet. Normaltheodolit 1.

Boegehold, H., Geometr. Optik 139.

Bohrmann, A., Zur Bestimmung von Kreisteilfehlern 69.

Bongards, H., Feuchtigkeitsmessg. 311.

Bonsdorff, J., Verhandlgn. der in Helsingfors vom 28. Juni bis 2. Juli 1924 abgehaltenen geodät. Konferenz 97. — Verhandlgn. der in Stockholm v. 10. bis 14. August 1926 abgehaltenen zweiten Tagung der balt. geodät. Kommission 463.

Bosshardt, R., u. C. Zeiss, Der Reduktionstachymeter Bosshardt-Zeiss 93.

Böttcher, K., Beitrag z. Entwicklg. von Dehnungsmessern kleiner Meßlänge 116, 178, 234, 285.

Brown, Henry T., Bewegungsmechanismen 144.

Bubert, Über Einstellsicherheit bei elektr. Meßgeräten 460.

Campbell, A., Campbell-Kapazitäts-Meßbrücke 358.

Chree, C., *Comparison of magnetic Standards at British Observatories, with a Discassion of varions instrumental Questions involved* 141.

Chwolson, O. D., Lehrbuch der Physik 51. – Die Physik 1914 bis 1926 460.

Cohn, W. M., Über Wolfram-Zirkonoxydöfen 565.

Couder, A., Prüfungsverfahren eines nicht sphär. Hohlspiegels 406.

Cuypers, P., Das Sigmaverfahren zur Schmierung feiner Mechanismen 568.

Dériaz, W., *Les mesures de températures courantes* 144.

Devik, O., Einige Neukonstruktionen meteorolog. Instrumente 218.

Dieperink, J. W., Die Feldermillimeterteilung im prakt. Gebrauch bei mittelbaren Entfernungsmessungen 563.

Druck: Der Einfluß d. Federmassen auf d. dynam. Eigenschaften von Indikatoren, Holm 14. — Gebrauch u. Prüfg. von Blutdruckmessern, Wilson, Eaton, Henrickson 458. — Ein Vakuum-Hitzdrahtmanometer, Skellett 458. — Das Hangphänomen des Quecksilbers u. ein neues Manometer, Hagen 566. — Entgegnung zum Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynam. Eigenschaften von Indikatoren" von Otto Holm, Dubois 585. — Stel-

lungnahme z. Entgegnung von Herrn Dr. Fr. Dubois zu meinem Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynam. Eigenschaften von Indikatoren, Holm 597.

Dubois, Fr., Entgegnung z. Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynam. Eigenschaften von Indikatoren“ von Otto Holm 585.

Eaton, H. N., s. Wilson.

Eggert, O. u. F. Koll, Geodät. Rechnungen mittels der Rechenmaschine 461.

Elastizität: Der Einfluß der Federmassen auf die dynam. Eigenschaften von Indikatoren, Holm 14. – Beitrag z. Entwicklg. von Dehnungsmessern kleiner Meßlänge, Böttcher 116, 178, 234, 285. — Entgegnung zum Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynam. Eigenschaften von Indikatoren“ von Otto Holm, Dubois 585. — Stellungnahme z. Entgegnung von Herrn Dr. Fr. Dubois zu meinem Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynam. Eigenschaften von Indikatoren, Holm 597.

Elektrizität: I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Ersatzschaltg. für die Rückwirkung der Zunge des Resonanztelephons, Bergtold 400. — Zur Maxwell-Thomsonschen Methode der absoluten Kapazitätsbestimmung, Skancke 432. — Üb. Einstellsicherheit bei elektr. Meßgeräten, Bubert 460.
II. Vorrichtungen z. Erzeugung v. Elektrizität.
III. Meßinstrumente: Eine handliche Meßbrücke z. Bestimmung von Induktivitäten u. Kapazitäten, Zickner 47. — Thermo-Wattmeter für geringen Leistungsfaktor u. für Hochfrequenz, Kühnel 127. — Campbell-Kapazitäts-Meßbrücke 358. — Hochspannungsvoltmeter, Klemperer 409. — Ein Röhrenvoltmeter, Fitch 567.
IV. Beleuchtungsapparate: Methode z. Erzeugg. von Lichtblitzen gleichmäßiger Intensität u. kurzer Dauer, Beams 197. — Entladungsrohr für photometr. Messungen, insbes. im Ultraviolett, Lau 284.
V. Allgemeines: Modernes elektrolyt. Überziehen, Hughes 515. — Das „Ultramikrometer“, ein neues Instrument zum Messen sehr kleiner Lageänderungen u. Bewegungen u. seine verschiedenartige Anwendung, Obata 614. — Kathodenoszillograph, Gábor 616.
VI. Literatur: Modernes elektrolyt. Überziehen, Hughes 515. — Kurzgefaßtes Handbuch der Elektrizitätszählertechnik, Bergtold 570.

Engel, J., Der tönende Film 462.

Entfernungsmesser s. Geodäsie VI.

Erk, S., Üb. d. Normung von Einschraubthermometern 252. — Untersuchungen einiger techn. Zähigkeitsmesser 559.

Fabry, Ch., *Introduktion générale à la photometrie 310.*

Fernrohre: Üb. die Form des Fadenkreuzes, Ticky 43. — Die Helligkeit der Fernrohre geodät. Vermessungsinstrumente, Lüdemann 138. — Apochromat. Fernrohrobjektiv großer relativer Öffnung u. von kleinem Durchmesser, Tardy 251. — Das Auflösungsvermögen der Fernrohre von kleinen u. mittleren geodät. Vermessungsinstrumenten, Lüdemann 496.

Ferrié, G., u R. Jouaust, Verwendg photoelektr. Zellen für Beobachtg. u. Betrieb von Pendeluhren 41. — Üb. ein durch photoelektr. Strom betriebenes freies Pendel u. seine Verwendg. im Zeitdienst 41.

Fisher, W. J., Üb. asphär. Linsensysteme 406.

Fitch, A. L., Ein Röhrenvoltmeter 567.

Flüssigkeiten: Strömungsmesser-Ausschuß beim Verein deutscher Ingenieure 624.

Foster, L. V., Asphär. Vergrößerungskondensor 193.

Föttinger, H., Die Entwicklg. der „Vektorintegratoren“ zur maschinellen Lösung von Potential- u. Wirbelproblemen 564.

Freundlich, E., Das Turmteleskop der Einsteinstiftung 48.

Friedenwald, J. S., Die Intensitätsverteilg. in astigmat. Bildern m. besonderer Berücksichtigg. der Leistungsfähigkeit von Prüftafeln bei der Refraktionsbestimmung 194.

Fritz, L., u. W. Uhink, Untersuchg. e. Breithauptschen Kreises n. d. Methode von Heuvelink u. Bemerkungen zu dieser Untersuchungsmethode 53.

Fuß, H., Üb. das von Herrn Tetens vorgeschlagene Achsensystem für Ballon-Theodolite 228.

Gábor, D., Kathodenoszillograph 616.

Gardner, J. C., Anwendg. d. algebra. Bildfehlergleichungen auf das opt. Rechnen 306.

Gardner, J. C., u. A. H. Bennett, Aufhebg. der Verzeichnung an Objektiven für Luftbildphotographie 354.

Gase: Strömungsmesser-Ausschuß beim Verein deutscher Ingenieure 624.

Gehrcke, E., Handbuch der physikal. Optik. Bd. II, zweite Hälfte, erster u. zweiter Teil 253.

Geiger, J., Mechan. Schwingungen u. ihre Messg. 462.

Geodäsie: I. Basismessungen: Üb. eine Vergleichsstrecke bei Längenmessungen, Blaß 138. — Die Umrechnung v. schief gemessenen Längen auf die Horizontale bei Grundlinienmessg. m. Drähten, Werkmeister 338.
II. Astronomisch-geodätische Instrumente.
III. Apparate zum Winkelabstecken: Über Winkelprismen, Samel 138. — Üb. das „Kreuzvisier Hensoldt Modell 1924“ u. den regelmäßigen Fehler einiger neueren Winkelprismen, Hohenner 408.
IV. Winkelmeßinstrumente u. Apparate f. Topographie: Ein neuer magnet. Normaltheodolit, Bock 1. — Der mittlere Zielfehler bei Winkelmessungen für Kleintriangulation, Lüdemann 43. — Ergebnisse der Versuchsmessungen m. einem 8-cm-Theodolit m. Schraubenmikroskopen, Blaß 95. — Bemerkungen zu der Arbeit von Th. Eversmann: „Mittlere Exzentrizität einiger Zwangszentrierungen“, Uhink 99. — Der neue Präzisions-Theodolit Wild, Werkmeister 114. — Meßtischausrüstung von H. Wild 134. — Prüfg. der Genauigkeit d. topograph. Grundkarte 1 : 5000, Graeser 199. — Üb. das von Herrn Tetens vorgeschlagene Achsensystem für Ballon-Theodolite, Fuß 228. — Über die Bestimmg. d. Kippachsenfehlers u. die Prüfg. bzw. Berichtigg. von Reversionslibellen, Theimer 327. — Erfahrung. beim Heliotropieren, Lang 352. — Zur Pilotvisierung in See, Stoecker 396. — Untersuchg. der Teilg. eines Wildschen Präzisionstheodolits, Ackerl 517. — Profilkippregel 559. — Üb. die Feldausrüstg. Zeiss Modell C 3b, ein Aufnahmegerät für terrestr. Photogrammetrie, Schneider 561. — Die Feldermillimeterteilung im prakt. Gebrauch bei mittelbaren Entfernungsmessungen, Dieperink 563. — Das photogrammetr. Meßverfahren, Seliger 569. — Ein neuer Mikroskop-Theodolit, Perrier 618.
V. Höhenmeßinstrumente u. ihre Hilfsapparate: Besondere Vorrichtungen z. Beobachten

des Libellenstandes bei Nivellierinstrumenten, Werkmeister 39. — Die Genauigkeit d. Höhenbestimmung durch Einschaltg. m. Federbarometern, Lüdemann 96. — Bestimmung der Höhenlage der Insel Terschelling, Schermerhorn 136.

I. Tachymetrie: Ein neuer Breithaupt-Reisetachymeter, Gigas 43. — Der Reduktionstachymeter Bosshardt-Zeiss, Bosshardt, Zeiss 93. — Genauigkeitsuntersuchungen an einem geodät. Doppelbild-Entfernungsmesser, Lüdemann 109. — Entfernungsmesser „Fardi" für techn. Zwecke 137. — Ein neuer selbstrechnender Tachymeter, Süss 561.

II. Allgemeines (s. a. Libellen, Planimetrie, Rechen- u. Zeichenapparate): Einige Beobachtungen an Dosenlibellen, Lüdemann 31. — Üb. die Form des Fadenkreuzes, Tichy 43. — Ein neues Reihenbildgerät für Luftmeßaufnahmen, Schneider 43. — Flugzeug-Stereokammer zur Herstellg. von räumlichen Aufnahmen aus dem Flugzeug aus niederer Höhe, insbesondere von Stadtarchitekturen 44. — Das Entzerrungsgerät des Konsortiums Luftbild-Stereographik, Modell 1926, Aschenbrenner 44. — Die geometr. Theorie der mechan. Entzerrung von ebenen Fliegeraufnahmen, Schilling 44. — Neues auf dem Gebiete der Photogrammetrie, namentlich der Luftphotogrammetrie, Samel 45. — Untersuchg. eines Breithauptschen Kreises n. d. Methode von Heuvelink u. Bemerkungen zu dieser Untersuchungsmethode, Fritz, Uhink 53. — Prüfg. der Teilg. eines Wildschen Universaltheodolits, Ackerl 94. — Üb. die Prüfg. von Schraubenmikrometern, insbesondere die Bestimmg. der period. Fehler von Schraubenmikroskopen an Theodoliten u. ein neues hierzu dienendes einfach. Hilfsmittel, Hohenner 95. — Die Polarkoordinatenmethode mittelst opt. Distanzmessg. als Aufnahmeverfahren für Katastervermessungen, Baltensperger 135. — Die Helligkeit der Fernrohre geodät. Vermessungsinstrumente, Lüdemann 138. — Normung im Vermessungswesen 138. — Geodät. Rechnungen mittels der Rechenmaschine, Eggert, Koll 461. — Das Auflösungsvermögen der Fernrohre von kleinen u. mittleren geodät. Vermessungsinstrumenten, Lüdemann 496. — Zur Prüfg. eines Photogrammeters, Löschner 573. — Über Nivellementsfestpunkte der Trigonometr. Abteilg. d. Reichsamts f. Landesaufnahme, Berndt 617.

VIII. Literatur: Verhandlgn. der in Helsingfors v. 28. Juni bis 2. Juli 1924 abgehaltenen geodät. Konferenz, Bonsdorff 97. — Mitteilungen aus dem Markscheidewesen 412. — Jahresbericht des Reichsamts für Landesaufnahme 412. — Verhandlgn. der in Stockholm v. 10. bis 14. Aug. 1926 abgehaltenen zweiten Tagung der balt. geodät. Kommission, Bonsdorff 463. — *Annual report of the director United States coast and geodetic survey* 463. — Kalender f. Landmessungswesen u. Kulturtechnik 516.

Geophysik: Lehrbuch der Geophysik, Gutenberg 96. — Geophysikal. Methoden im Bergbau, Heiland 248. — Konstruktion, Theorie u. Anwendg. der Lokalvariometer, Heiland 249. — Die Eötvös-Torsionswaagen Bauart Schweydar-Bamberg, Heiland 249.

Gerlach, E., Registrierender Schallmesser u. seine Anwendungen 356.

Geschichte: *A telescope made by Christopher Cock in 1673*, Baxandall 49. — Z. Kenntnis der Porroschen Patentschriften m. einer Übertragung des Textes ins Deutsche, v. Rohr 74. — Zur Entstehg. des Jenaer Glaswerks, v. Rohr 166. — Zum Gedächtnis Eduard Dunckers 299.

Gewecke, H., Üb. die Temperaturabhängigkeit des remanenten Magnetismus 567.

Giebel, K., Das Pendel 624.

Gifford, J. William, *Lens computing by trigonometrical trace* 411.

Gigas, E., Ein neuer Breithaupt-Reisetachymeter 43.

Glas: Zur Entstehg. des Jenaer Glaswerks, v. Rohr 166. — Beitrag zur Frage der Glasreflexion, Amy 307. — Vergleichg. der Deformation von Glas und geschmolzenem Quarz unter der Einwirkg. von Temperaturänderungen, Arnulf 308. — Die Charakterisierung d. Gläser durch ihre elektromotor. Eigenschaften, Horovitz 309. — Erprobg. einiger einfacher Vorrichtungen z. Erkennung von Inhomogenitäten in opt. Glase, Arnulf 407. — P. L. Guinands Anweisung zum Glasschmelzen, v. Rohr 458, 501, 548, 600. — Jenaer Glaswerk Schott & Gen. Liste 4213 516.

Goldberg, E., Herstellg. von starken Verkleinerungen 195.

Groeneveld, J., Beseitigg. d. Unstetigkeiten im Auflösungsvermögen der Dunkelfeldmikroskope 349.

v. Gronow, E., Zur Vorrechnung von Lichtbildlinsen m. d. Eikonal 345.

Graeser, M., Prüfg. der Genauigkeit der topograph. Grundkarte 1 : 5000 199.

Gramatzki, H. J., Leitfaden der astronom. Beobachtg. 461.

Gutenberg, B., Lehrbuch der Geophysik 96.

Hagen, C., Das Hangphänomen des Quecksilbers und ein neues Manometer 566.

Harms, F., s. Wien.

Harrison, G. R., *A Comparator-Mikrophotometer* 407.

Heiland, C. A., Geophysikal. Methoden im Bergbau 248. — Konstruktion, Theorie u. Anwendung der Lokalvariometer 249. — Die Eötvös-Torsionswaagen Bauart Schweydar-Bamberg 249.

Hencky, K., s. Knoblauch.

Henning, F., u. J. Otto, Abänderung der gesetzlichen Temperaturskala 361.

Henrickson, H. B., s. Wilson.

Henriot, E., u. D. Huguenard, Üb. große, m. Rotoren ohne feste Achse erzeugte Winkelgeschwindigkeiten 304.

Hensoldt, M., & Söhne, Neue Preisliste 572.

Herzberger, M., Die Gesetze erster Ordnung in opt. Systemen 192. — Üb. Sinusbedingung, Kosinusrelation, Isoplanasie- u. Homöoplanasiebedingung, ihren Zusammenhang m. energet. Überlegungen und ihre Ableitung aus dem Fermatschen Gesetz 313, 465, 524. — Üb. die Gesetze zweiter Ordnung längs einem Meridianstrahl in Rotationssystemen 384; Nachsatz hierzu 464.

Herzfeld-Hoffmann, Fr., Ein neuer techn. Farbmeßapparat 105.

Hohenner, H., Üb. die Prüfung von Schraubenmikrometern, insbesondere die Bestimmung der period. Fehler von Schraubenmikroskopen an Theodoliten und ein neues hierzu dienendes einfaches Hilfsmittel 95. — Üb. das „Kreuzvisier Hensoldt Modell 1924" u. den regelmäßigen Fehler einiger neueren Winkelprismen 408.

Holm, O., Der Einfluß der Federmassen auf die dynam. Eigenschaften von Indikatoren 14. — Stellungnahme zur Entgegnung von Herrn Dr. Fr. Dubois zu meinem Aufsatz: „Der Einfluß der Federmassen auf die dynam. Eigenschaften von Indikatoren 597.

Holtzmann, M., u. L. Keller, Apparat zur Messung der atmosphär. Turbulenz 45.
Hornoch, A., Üb. Bildweitenbestimmung bei geneigten Photogrammen 491.
Horovitz, K., Die Charakterisierung der Gläser durch ihre elektromotor. Eigenschaften 309.
Hort, W., s. Auerbach.
Hughes, W. E., Modernes elektrolyt. Überziehen 515.
Huguenard, E., s. Henriot.

v. Ignatowski, W., Die Vektoranalysis und ihre Anwendung in der theoret. Physik 200.

Jachontow, E., Die Abhängigkeit der sphär. Aberration der Meridianstrahlen von der Lage des Objektes und der Eintrittspupille 540.
Jenaer Glaswerk Schott & Gen., Liste 4213. Jenaer Farb- und Filtergläser für Wissenschaft und Technik 516.
John, C., Zur Normalisierung im Mikroskopbau 292.
Jouaust, R., s. Ferrié.

Kalorimetrie s. Wärme.
Karten: Jahresbericht des Reichsamts für Landesaufnahme 412.
Keil, W., Verbesserung der Registrierfeder 130.
Keller, L., s. Holtzmann.
Kinematik: Bewegungsmechanismen, Brown 144.
Kinematographie: Leitfaden für Kinooperateure und Kinobesitzer, Schrott 412. — Der tönende Film, Engel 462.
Kingslake, R., Die Analyse eines Interferogramms 307.
Kistner, A., Deutsche Meister der Naturwissenschaft u. Technik 144.
Klemperer, O., Hochspannungsvoltmeter 409.
Knoblauch, O., u. K. Hencky, Anleitg. zu genauen Temperaturmessungen 98.
Koll, F., s. Eggert.
Komparatoren s. Maßstäbe und Längenmessungen.
Kühl, A., Üb. den Einfluß des Grenzkontrastes auf Präzisionsmessungen 353.
Kühnel, E., Thermo-Wattmeter für geringen Leistungsfaktor und für Hochfrequenz 127.

Lang, W., Erfahrungen beim Heliotropieren 352.
Längenmessungen s. Maßstäbe.
Lau, E., Entladungsrohr für photometr. Messungen, insbes. im Ultraviolett 284.
Libellen: Einige Beobachtungen an Dosenlibellen, Lüdemann 31. — Besondere Vorrichtungen z. Beobachten des Libellenstandes bei Nivellierinstrumenten, Werkmeister 39. — Üb. d. Bestimmg. des Kippachsenfehlers und die Prüfg. bzw. Berichtigg. v. Reversionslibellen, Theimer 327.
Linckh, H. E., und R. Vieweg, Eine einfache Anordnung für stroboskop. Untersuchungen 416.
Literatur (Preislisten, Biographie, siehe diese): Das Turmteleskop der Einsteinstiftung, Freundlich 48. — Lehrbuch der Physik, Chwolson 51. — Lehrbuch der Geophysik, Gutenberg 96. — Einführung in die Physik der Gasentladungen, Seeliger 98. — Deutsche Meister der Naturwissenschaft u. Technik, Kistner 144. — Analyse period. Vorgänge, Stumpff, 198. — Die Vektoranalysis und ihre Anwendung in der theoret. Physik, Ignatowski 200. — Beitrag zur Mengenmessg. strömenden Dampfes mittels Stauringen, Pflaum 254. — Nomographie des Bauingenieurs, Mayer 255. — Einführung in die prakt. Nomographie, Schwerdt 255. — Zweite Sammlg. astronom. Miniaturen, Strömgren, . Strömgren 310. — Müller-Pouillets Lehrbuch der Physik, V. Bd. 2. Hälfte 358. — Alkoholometr. Tafeln z. einheitl. Lösung von Aufgaben der Alkoholometrie. Alkoholometr. Reduktionstafeln zur Bestimmung der Menge reinen Alkohols in Litern 360. — Optik, Halbmonatsschrift f. d. opt. Industrie. Waldstein, Perschat 360. — Einführg. in die Ausgleichsrechnung n. d. Methode der kleinsten Quadrate, Werkmeister 409. — Handbuch der physikal. u. techn. Mechanik, Auerbach, Hort 410. — *Lens computing by trigonometrical trace*, Gifford 411. — Drei grundlegende u. gemeinverständl. Arbeiten zur Scheinwerferfrage, Mangin, Tschikolew 411. — Leitfaden für Kinooperateure u. Kinobesitzer, Schrott 412. — Mitteilungen aus dem Markscheidewesen 412. — Jahresbericht des Reichsamts für Landesaufnahmen 412. — Die Physik 1914—1926, Chwolson 460. — Leitfaden der astronom. Beobachtung, Gramatzki 461. — Mathemat. Praktikum I, v. Sanden 461. — Mechan. Schwingungen und ihre Messg., Geiger 462. — Theorie der zusammengesetzten Waagen, Zingler 462. — Der tönende Film, Engel 462. — Loewe-Teilapparate und das Teilen, L. Loewe & Co. 463. — Handbuch der Experimentalphysik, Wien, Harms 514. — Modernes elektrolyt. Überziehen, Hughes 515. — Kalender f. Landmessungswesen u. Kulturtechnik, Jordan 516. — Ergebnisse der exakten Naturwissenschaften 569. — Das photogrammetr. Meßverfahren, Seliger 569. — Handbuch der physikal. u. techn. Mechanik, Auerbach, Hort 410, 570, 623. — Kurzgefaßtes Handbuch der Elektrizitätszählertechnik, Bergtold 570. — Rostfreie Stähle, Schäfer 571. — Das Pendel, Giebel 624. Mathemat. Strömungslehre, Müller 623. — Zum Gedächtnis Eduard Dunckers 299.
Löschner, H., Zur Prüfg eines Photogrammeters 573.
Lüdemann, K., Einige Beobachtungen an Dosenlibellen 31. — Der mittlere Zielfehler bei Winkelmessungen für Kleintriangulation 43. — Die Genauigkeit der Höhenbestimmung durch Einschaltg. von Federbarometern 96. — Genauigkeitsuntersuchgn. an einem geodätischen Doppelbild-Entfernungsmesser 109. — Die Helligkeit der Fernrohre geodät. Vermessungsinstrumente 138. — Das Auflösungsvermögen der Fernrohre von kleinen u. mittleren geodät. Vermessungsinstrumenten, Lüdemann 496.
Luftfahrt: Ein neues Reihenbildgerät für Luftmeßaufnahmen, Schneider 43. — Flugzeug-Stereokammer zur Herstellung von räuml. Aufnahmen aus dem Flugzeug aus niederer Höhe, insbesondere von Stadtarchitekturen 4[illegible] — Das Entzerrungsgerät des Konsortiums Luftbild-Stereographik, Modell 1926, Aschenbrenner 44. — Die geometr. Theorie der mechan. Entzerrung von ebenen Fliegeraufnahmen, Schilling 44. — Neues auf dem Gebiete der Photogrammetrie, namentlich der Luftphotogrammetrie, Samel 4[illegible] — Üb. das von Herrn Tete[illegible] vorgeschlagene Achsensystem f[illegible] Ballon-Theodolite, Fuß 228. — Arbeiten zur Luftnavigierung 3[illegible] — Bordgeräte im Verkehrsflugzeug, Mäder 621.

Mäder, M., Bordgeräte im Verkehrsflugzeug 621.
Magnetismus u. Erdmagnetismus (s. a. Kompasse): Ein neuer magnetischer Normaltheodolit, Bo[illegible] 1. — Lehrbuch der Physik, Chwolson 51. — *Comparison of magnetic Standards at British Observatories, with a Discussion of various instrumental Questions involved*, Chree 141. — Konstruktion, Theorie u. Anwendung d[illegible]

Lokalvariometer, Heiland 249. — Üb. elektr. Methoden der Messg. des erdmagnet. Feldes und ein Universal-Induktions-Magnetometer, Uljanin 408. — Über die Temperaturabhängigkeit des remanenten Magnetismus, Gewecke 567.

angin, A., u. W. Tschikolew, Drei grundlegende u. gemeinverständl. Arbeiten zur Scheinwerferfrage 411.

aßstäbe u. Längenmessungen: Beitrag zur Entwicklg. von Dehnungsmessern kleiner Meßlänge, Böttcher 116, 178, 234, 285. — Üb. eine Vergleichsstrecke bei Längenmessungen, Blass 138. — Die Abplattg. von Stahlkugeln u. -zylindern durch den Meßdruck, Berndt 422.

ayer, M., Nomographie des Bauingenieurs 255.

echanik: Bewegungsmechanismen, Brown 144. — Üb. große, mit Rotoren ohne feste Achse erzeugte Winkelgeschwindigkeiten, Henriot, Huguenard 304. — Handbuch der physikal. u. techn. Mechanik, Auerbach, Hort 410, 570, 623. — Die Schwingungsdauer der nicht ausgewuchteten Unruh, Bock 413. — Die Abplattg. von Stahlkugeln u. -zylindern durch den Meßdruck, Berndt 422.

leßmaschine s. Maßstäbe und Längenmessungen.

letalle u. Metall-Legierungen: Modernes elektrolyt. Überziehen, Hughes 515. — Rostfreie Stähle, Schäfer 571.

leteorologie (Thermometrie siehe diese): I. Barometer, Aneroide): Die Genauigkeit der Höhenbestimmung durch Einschaltung mit Federbarometern, Lüdemann 96.

I. Anemometer (Windmesser): Apparat z. Messg. der atmosphär. Turbulenz, Holtzmann, Keller 45. — Einige Neukonstruktionen meteorolog. Instrumente, Devik 218. — Neues Torsionsanemometer, Rees 357.

II. Feuchtigkeitsmesser (Hygrometer, Psychrometer): Einige Neukonstruktionen meteorolog. Instrumente, Devik 218. — Feuchtigkeitsmessg., Bongards 311.

V. Regenmesser.

. Allgemeines.

I. Literatur.

leyer, Alfred W., Die opt. Konstanten von Molybdenit im Ultraviolett 198.

leyermann, B., Vorrichtg. zur Verbreiterung von Sternspektren für photometr. Zwecke 104.

Mikrometer: Üb. die Prüfung von Schraubenmikrometern, insbesondere die Bestimmung der period. Fehler von Schraubenmikroskopen an Theodoliten u. ein neues hierzu dienendes einfaches Hilfsmittel, Hohenner 95.

Mikroskopie: Zur Normalisierung im Mikroskopbau, John 292. — Beseitigung der Unstetigkeiten im Auflösungsvermögen der Dunkelfeldmikroskope, Groeneveld 349.

Miles, W. R., Über die Verstimmung belasteter Stimmgabeln 618.

Müller-Pouillet, Lehrbuch der Physik, 11. Aufl. 2. Bd. 139, V. Bd. 2. Hälfte 358.

Müller, Wilhelm, Mathemat. Strömungslehre 623.

Nautik: Zur Pilotvisierung in See, Stoecker 396.

Nickelstahl s. Metalle.

Obata, J., Das „Ultramikrometer", ein neues Instrument zum Messen sehr kleiner Lageänderungen und Bewegungen u. seine verschiedenartige Anwendung 614.

Optik (s. a. Fernrohre, Interferometrie, Mikroskopie, Ophthalmologie, Photographie, Photometrie, Polarimetrie, Prismen, Spektroskopie, Spiegel):

I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Üb. die Parallelrichtg. des Lichts im Falle einer Lichtquelle endl. Ausdehnung, Silberstein 40. — Zur Messung von Linsenradien, Schleiermacher 70. — Opt. Multiplikatoren, Turlyghin 187. — Die Gesetze erster Ordnung in opt. Systemen, Herzberger 192. — Die Lichtstromverteilung eines Systems gegenseitig reflektierender Flächen, Yamauti 192. — Lichtstreuung u. Sicht. Anwendung auf Scheinwerfer, Roccard, de Rothschild 193. — Die Intensitätsverteilg. in astigmat. Bildern mit besonderer Berücksichtigung der Leistungsfähigkeit von Prüftafeln bei der Refraktionsbestimmung, Friedenwald 194. — Die opt. Konstanten von Molybdenit im Ultraviolett, Meyer 198. — Die Behandlg. der Reflexion als Spezialfall der Brechung, Smith 250. — Üb. das Hartmannsche Verfahren der Objektivprüfung, Siadbei 252. — Zur Normalisierung im Mikroskopbau, John 292. — Anwendg. der algebra. Bildfehlergleichungen auf das opt. Rechnen, Gardner 306. — Die Analyse eines Interferogramms, Kingslake 307. — Eine exakte Methode zur Bestimmung der Lage des Brennpunktes eines opt. Systems, Beck 307. — Üb. den Einfluß künstl. Tageslichts u. des Lichtes gewöhnlicher Nitralampen auf das Auge, Priest 307. — Beitrag zur Frage der Glasreflexion, Amy 307. — Üb. das von einem Plattensatz durchgelassene u. reflektierte Licht, Smith 308. — Üb. Sinusbedingg., Kosinusrelation, Isoplanasie- u. Homöoplanasiebedingg., ihren Zusammenhang m. energet. Überlegungen u. ihre Ableitung aus dem Fermatschen Gesetz, Herzberger 313, 465, 524. — Zur Vorrechnung von Lichtbildlinsen m. d. Eikonal, v. Gronow 345. — Beseitigg. der Unstetigkeiten im Auflösungsvermögen der Dunkelfeldmikroskope, Groeneveld 349. — Üb. den Einfluß des Grenzkontrastes auf Präzisionsmessungen, Kühl 353. — Die Aufhebung der Verzeichnung an Objektiven für Luftbildphotographie, Gardner, Bennett 354. — Die Verzeichnung einiger typ. photograph. Objektive, Bennett 354. — Achromat. Linsen f. das Ultraviolett, Bloch 355. — Über die Gesetze zweiter Ordnung längs einem Meridianstrahl in Rotationssystemen, Herzberger 384. — Üb. asphär. Linsensysteme, Fisher 406. — Prüfungsverfahren eines nicht sphär. Hohlspiegels, Couder 406. — Kontrolle von Parabolspiegeln n. der Hartmannschen Methode, Romanoff 406. — Erprobg. einiger einfacher Vorrichtungen zur Erkennung von Inhomogenitäten in opt. Glase, Arnulf 407. — P. L. Guinands Anweisung zum Glasschmelzen, v. Rohr 438, 501, 548, 600. — Nachschrift zu dem Aufsatz „Üb. die Gesetze zweiter Ordnung längs einem Meridianstrahl in Rotationssystemen, Herzberger 464. — Die Abhängigkeit der sphär. Aberration der Meridianstrahlen von der Lage des Objektes und der Eintrittspupille, Jachontow 540. — Einige noch unbestellte Gebiete der Optik, Smith 619. — Die Untersuchung einer Linse durch das Zeichenverfahren, Southall 621.

II. Apparate: Zur Theorie der Refraktometer, Schulz 26. — Ein neuer techn. Farbmeßapparat, Herzfeld-Hoffmann 105. — Asphär. Vergrößerungskondensor, Foster 193. — Lichtstreuung u. Sicht. Anwendung auf Scheinwerfer, Roccard, de Rothschild 193. — Apochromat. Fernrohrobjektiv großer relativer Öffnung u. von kleinem Durchmesser, Tardy 251. — Üb. das Exnersche Polarimeter u. eine Anwendungsart dieses Instruments, Tomaschek 308. —

Üb. die Ermittlg. der Farbkoordinaten aus den Messungen am trichromatischen Kolorimeter, Runge 387. — *A Comparator-Mikrophotometer*, Harrison 407. — *A Polarization Photometer Eypiece*, Wright 407. — Eine einfache Anordnung für stroboskop. Untersuchungen, Linckh, Vieweg 416. — Das Auflösungsvermögen der Fernrohre von kleinen u. mittleren geodät. Vermessungsinstrumenten, Lüdemann 496.

III. Literatur: *A telescope made by Christopher Cock in 1673*, Baxandall 49. — *Contrôle des surfaces optiques*, Yvon 50. — Zur Kenntnis d. Porroschen Patentschriften mit einer Übertragung der Texte ins Deutsche, v. Rohr 74. — Geometr. Optik, Boegehold 139. — Lehrbuch der Physik, 2. Band, Müller-Pouillet 139. — Handbuch der physikal. Optik Bd. II, zweite Hälfte, erster und zweiter Teil, Gehrcke 253. — *Introduction générale à la photometrie*, Fabry 310. — Optik, Halbmonatsschrift f. d. Opt. Industrie, Waldstein, Perschatt 360. — *Lens computing by trigonometrical trace*, Gifford 411. — Drei grundlegende u. gemeinverständl. Arbeiten zur Scheinwerferfrage, Mangin, Tschikolew 411.

Otto, J., s. Henning.

Paunow, P., Ein neues Pyrheliometer 90.

Pendel u. Pendelmessungen: Verwendg. photoelektr. Zellen für Beobachtg. u. Betrieb von Pendeluhren, Ferrié, Jouaust 41. — Üb. ein durch photoelektr. Strom betriebenes freies Pendel und seine Verwendung im Zeitdienst, Ferrié, Jouaust 41. — Drahtlose Fernsteuerung v. Koinzidenzapparaten bei relativen Schweremessungen, Berger 366. — Das Pendel, Giebel 624.

Pendeluhren s. Zeitmessung.

Perrier, G., Ein neuer Mikroskop-Theodolit 618.

Pflaum, W., Beitrag zur Mengenmessg. strömenden Dampfes mittels Stauringen 254.

Photographie: Herstellg. von starken Verkleinerungen, Goldberg 195. — Photograph. Methode der Spektralphotometrie im Rot und Ultrarot, Schoen 353. — Die Aufhebung der Verzeichnung an Objektiven für Luftbildphotographie, Gardner, Bennet 354. — Die Verzeichnung einiger typ. photograph. Objektive, Bennett 354. — Die Messung des Auflösungsvermögens photograph. Schichten, Sandvik 355. — Einf. Methode z. Bestimmung der Geschwindigkeit d. Momentverschlusses photograph. Apparate, Ronchi 356. — Zur Prüfung von Momentverschlüssen, Schindelhauer 464.

Photogrammetrie: Ein neues Reihenbildgerät für Luftmeßaufnahmen, Schneider 43. — Flugzeug Stereokammer zur Herstellg. von räuml. Aufnahmen aus dem Flugzeug aus niederer Höhe, insbesondere von Stadtarchitekturen 44. — Das Entzerrungsgerät des Konsortiums Luftbild-Stereographik, Modell 1926, Aschenbrenner 44. — Die geometr. Theorie der mechan. Entzerrung von ebenen Fliegeraufnahmen, Schilling 44. — Neues auf dem Gebiete der Photogrammetrie, namentlich der Luftphotogrammetrie, Samel 45. — Das Luftbildwesen auf der Ila 1928 312, 463. — Üb. Bildweitenbestimmung bei geneigten Photogrammen, Hornoch 491. — Über die Feldausrüstg. Zeiss Modell C 3 b, ein Aufnahmegerät für terrestr. Photogrammetrie, Schneider 561. — Das photogrammetr. Meßverfahren, Seliger 569. — Zur Prüfg. eines Photogrammeters, Löschner 573.

Photometrie: Vorrichtg. zur Verbreiterung v. Sternspektren für photometr. Zwecke, Meyermann 104. — Die Lichtstromverteilg. eines Systems gegenseitig reflektierender Flächen, Yamauti 192. — Entladungsrohr für photometr. Messungen, insbesondere im Ultraviolett, Lau 284. — *Introduction générale à la photometrie*, Fabry 310. — Photograph. Methode der Spektralphotometrie im Rot und Ultrarot, Schoen 353. — *A Comparator-Mikrophotometer*, Harrison 407. — *A Polarization Photometer Eypiece*, Wright 407.

Physiologie: Die Intensitätsverteilg. in astigmat. Bildern m. besonderer Berücksichtigg. d. Leistungsfähigkeit von Prüftafeln bei der Refraktionsbestimmung, Friedenwald 194. — Über den Einfluß künstl. Lichtes u. des Lichtes gewöhnlicher Nitralampen auf das Auge, Priest 307. — Gebrauch u. Prüfung von Blutdruckmessern, Wilson, Eaton, Henrickson 458.

Planimetrie: Neuer Auftragapparat für Polarkoordinaten (Polarkoordinatograph) 131. — Die Polarkoordinatenmethode mittels opt. Distanzmessg. als Aufnahmeverfahren für Katastervermessungen, Baltensperger 135. — Das Vektor - Präzisionsscheibenplanimeter m. selbsttätiger Kompensation, Schnöckel 381. — Die Entwicklg. der „Vektorintegratoren“ zur maschinellen Lösg. von Potential- und Wirbelproblemen, Föttinger 564.

Platinthermometer s. Therm metrie.

Polarimetrie: Üb. das Exnersc Polarimeter u. eine Anwendung art dieses Instrumentes, Tom schek 308. — *A Polarizati Photometer Eypiece*, Wright 40

Preislisten: Neue Preisliste v F. W. Breithaupt & Sohn, Kass Theodolit 1926 52. — Jena Glaswerk Schott & Gen. Liste 42 516. — Neue Preisliste von Hensoldt & Söhne in Wetzl 572.

Priest, J. G., Üb. den Einfl künstlichen Tageslichtes und d Lichtes gewöhnlicher Nitralamp auf das Auge 307.

Prismen: Über Winkelprisme Samel 138.

Pyrometer s. Thermometrie.

Quecksilberbarometer s. M teorologie.

Quecksilberniveaus s. Libelle

Rechenapparate u. Rechenhilf mittel: Eine neue „Archimedes Rechenmaschine 91. — Integr tion vermittels des Kurvimete Schwerdtfeger 125, 340. — Nom graphie des Bauingenieurs, May 255. — Einführung in die prak Nomographie, Schwerdt 255. Die Rechenmaschinen „Kuhr 302. — Untersuchg. über die G nauigkeit des harmon. Analysato von Dr. O. Mader, Ackerl 375. Die Rechenmaschine „Hama Automat“ 405. — Geodät. Rec nungen mittels der Reche maschine, Eggert, Koll 461. Die Entwicklg. der „Vektorint gratoren“ zur maschinellen L sung von Potential- u. Wirbe problemen, Föttinger 564.

Rees, L. P., Ein neues Torsion anemometer 357.

Refraktometer: Zur Theorie d Refraktometer, Schulz 26.

Registrierapparate: Verbesseru der Registrierfeder, Keil 130.

Reichsanstalt, Physikalisch-Tec nische: Tätigkeit d. Phys.-Tech Reichsanstalt i. Jahre 1927 14 201, 257. — Abänderung der g setzl. Temperaturskala, Hennin Otto 361.

Roccard, Y., u. Ph. de Rot schild, Lichtstreuung u. Sic Anwendg. auf Scheinwerfer 1

v. Rohr, M., Zur Kenntnis d. Porr schen Patentschriften m. ein Übertragung der Texte ins Deu sche 74. — Zur Entstehg. d. Jena Glaswerks 166. — P. L. Guinan Anweisg. zum Glasschmelzen 43 501, 548, 600.

Romanoff, M., Kontrolle von P rabolspiegeln nach der Hartman schen Methode 406.

Ronchi, V., Einfache Methode zur Bestimmung der Geschwindigkeit des Momentverschlusses photograph. Apparate 356.
le Rothschild, Ph., s. Roccard.
Runge, J., Über die Ermittlg. der Farbkoordinaten aus den Messungen am trichromatischen Kolorimeter 387.

Samel, Neues auf dem Gebiete der Photogrammetrie, namentlich der Luftphotogrammetrie 45. — Über Winkelprismen 138.
v. Sanden, H., Mathemat. Praktikum I 461.
Sandvik, O., Die Messg. des Auflösungsvermögens photograph. Schichten 355.
Schäfer, R., Rostfreie Stähle 571.
Schermerhorn, W., Bestimmung der Höhenlage der Insel Terschelling 136.
Schilling, F., Die geometr. Theorie der mechan. Entzerrung v. ebenen Fliegeraufnahmen 44.
Schindelhauer, F., Zur Prüfung von Momentverschlüssen 464.
Schleiermacher, A., Zur Messg. von Linsenradien 70.
Schmelzpunkt s. Wärme.
Schmidt, W., Das Wärmelot, ein Gerät zum Aufzeichnen der Tiefentemperatur in stehenden Gewässern 459.
Schneider, F., Ein neues Reihenbildgerät für Luftmeßaufnahmen 43. — Über die Feldausrüstg. Zeiss Modell C 3b, ein Aufnahmegerät für terrestr. Photogrammetrie 561.
Schnöckel, J., Das Vektor-Präzisionsscheibenplanimeter m. selbsttätiger Kompensation 381.
Schoen, A. L., Photogr. Methode der Spektralphotometrie im Rot u. Ultrarot 353.
Schrott, P., Leitfaden für Kinooperateure u. Kinobesitzer 412.
Schükarew, A. N., Versuche der Herstellg. widerstandsfähiger Gewichte 88.
Schulz, H., Zur Theorie der Refraktometer 26.
Schwerdt, H., Einführung in die prakt. Nomographie 255.
Schwerdtfeger, H., Integration vermittels des Kurvimeters 125, 340.
Schwere: Die Eötvös-Torsionswaagen Bauart Schweydar-Bamberg, Heiland 249. — Drahtlose Fernsteuerung von Koinzidenzapparaten bei relativen Schweremessungen, Berger 366.
Seeliger, R., Einführung in die Physik d. Gasentladungen 98.
Seliger, P., Das photogrammetr. Meßverfahren 569.
Siadbei, G., Über d. Hartmannsche Verfahren der Objektivprüfung 252.
Siedethermometer s. Meteorologie u. Thermometrie.
Silberstein, L., Über die Parallelrichtg. des Lichts im Falle einer Lichtquelle endl. Ausdehnung 40.
Skancke, R., Zur Maxwell-Thomsonschen Methode der absoluten Kapazitätsbestimmung 432.
Skellett, A. M., Ein Vakuum-Hitzdrahtmanometer 458.
Smith, T., Die Behandlg. der Reflexion als Spezialfall der Brechg. 250. — Über das von einem Plattensatz durchgelassene u. reflektierte Licht 308. — Einige noch unbestellte Gebiete der Optik 619.
Southall, J. P. C., Die Untersuchung einer Linse durch das Zeichenverfahren 621.
Spektroskopie: Photograph. Methode der Spektralphotometrie im Rot u. Ultrarot, Schoen 353. — Über d. Ermittlg. d. Farbkoordinaten aus d. Messungen am trichromat. Kolorimeter, Runge 387.
Spezifisches Gewicht: Alkoholometr. Tafeln z. einheitl. Lösg. von Aufgaben d. Alkoholometrie. Alkoholometr. Reduktionstafeln z. Bestimmung der Menge reinen Alkohols in Litern 360.
Sphärometer s. Optik u. Maßstäbe.
Spiegel: Opt. Multiplikatoren, Turlyghin 187. — Prüfungsverfahren eines nicht sphär. Hohlspiegels, Couder 406. — Kontrolle von Parabolspiegeln nach der Hartmannschen Methode, Romanoff 406.
Stoecker, E., Zur Pilotvisierung in See 396.
Straumann, R., Eine monometall. Kompensationsunruh 568.
Strömgren, B., s. E. Strömgren.
Strömgren, E., u. B. Strömgren, Zweite Sammlg. astronom. Miniaturen 310.
Stumpff, Karl, Analyse period. Vorgänge 198.
Süß, F., Ein neuer selbstrechnender Tachymeter 561.

Tardy, H. L., Ein apochromat. Fernrohrobjektiv großer relativer Öffnung u. von kleinem Durchmesser 251.
Technologie: Das Sigmaverfahren zur Schmierung feiner Mechanismen, Cuypers 568. — Strömungsmesser-Ausschuß beim Verein deutscher Ingenieure 624.
Teilungen: Untersuchg. eines Breithauptschen Kreises n. d. Methode von Heuvelink u. Bemerkungen zu dieser Untersuchungsmethode, Fritz, Uhink 53. — Zur Bestimmung von Kreisteilfehlern, Bohrmann 69. — Prüfg. d. Teilg. eines Wildschen Universaltheodolits, Ackerl 94. — Loewe-Teilapparate u. das Teilen 463. — Untersuchg. der Teilung eines Wildschen Präzisionstheodolits, Ackerl 517.
Theimer, V., Über die Bestimmg. des Kippachsenfehlers u. die Prüfg. bzw. Berichtigg. von Revisionslibellen 327.
Thermoelemente s. Thermometrie.
Thermometrie: *Les mesures de températures courantes*, Dériaz 144. — Über die Normung von Einschraubthermometern, Erk 252. — Abänderung der gesetzl. Temperaturskala, Henning, Otto 361. — Definitionen pyrometr. Ausdrücke 459. — Das Wärmelot, ein Gerät zum Aufzeichnen der Tiefentemperatur in stehendem Gewässer, Schmidt 459.
Tichy, A., Über die Form des Fadenkreuzes 43.
Tomaschek, O., Über d. Exnersche Polarimeter u. eine Anwendungsart dieses Instruments 308.
Tschikolew, W., s. Mangin.
Turlyghin, S. J., Opt. Multiplikatoren 187.

Uhink, W., s. Fritz.
Uhink, W., Bemerkungen zu der Arbeit von Th. Eversmann: „Mittlere Exzentrizität einiger Zwangszentrierungen" 99.
Uljanin, W., Üb. elektr. Methoden der Messg. d. erdmagnet. Feldes u. ein Universal-Induktions-Magnetometer 408.

Vieweg, R., s. Linckh.
Viscosimeter: Ein neuer Zähigkeitsprüfer (Viscosimeter), Albrecht, Wolff 249. — Untersuchungen einiger techn. Zähigkeitsmesser, Erk 559.

Waagen u. Wägungen: Versuche der Herstellg. widerstandsfähiger Gewichte, Schükarew 88. — Theorie der zusammengesetzten Waagen, Zingler 462.
Wärme (Thermometrie s. diese):
I. Theoretische Untersuchungen u. Meßmethoden: Abänderung der gesetzl. Temperaturskala, Henning, Otto 361. — Über Wolfram-Zirkonoxydöfen, Cohn 565.
II. Apparate: Neues Pyrheliometer, Paunow 90. — Über die Normung von Einschraubthermometern, Erk 252.

III. Literatur: Anleitg. zu genauen Temperaturmessungen, Knoblauch, Hencky 98. — *Les mesures de températures courantes*, Dériaz 144.
Werkmeister, P., Besondere Vorrichtungen z. Beobachten des Libellenstandes bei Nivellierinstrumenten 39. — Der neue Präzisions-Theodolit Wild 114. — Die Umrechnung von schief gemessenen Längen auf die Horizontale bei Grundlinienmessg. m. Drähten 338. — Einführung in die Ausgleichsrechnung n. d. Methode der kleinsten Quadrate 409.
Wien, W., u. F. Harms, Handbuch der Experimentalphysik 514.
Wilson, J., Lt., H. N. Eaton u. H. B. Henrickson, Gebrauch u. Prüfg. von Blutdruckmessern 458.
Wolff, s. Albrecht.
Wright, F. E., *A Polarization Photometer Eypiece* 407.

Yamauti, Z., Die Lichtstromverteilg. eines Systems gegenseitig reflektierender Flächen 192.
Yvon, G., *Contrôle des surfaces optiques* 50.

Zeichenapparate: Neuer Auftragapparat für Polarkoordinaten (Polarkoordinatograph) 131.
Zeiss, C., s. Bosshardt.
Zeitmessung: Verwendg. photoelektr. Zellen f. Beobachtg. u. Betrieb von Pendeluhren, Ferrié, Jonaust 41. — Über ein durch photoelektr. Strom betriebenes freies Pendel u. seine Verwendung im Zeitdienst, Ferrié, Jonaust 41. — Die Vierundzwanzigstundenuhr m. Tages- u. Nachtzifferblatt, Baumgart 309. — Die Schwingungsdauer der nicht ausgewuchteten Unruh, Bock 413. — Der Zeitdruck-Registrierapparat von Löbner als Chronograph für sportl. Zeitmessungen 454. — Eine monometall. Kompensationsunruh, Straumann 568.
Zickner, G., Eine handliche Meßbrücke z. Bestimmung von Induktivitäten u. Kapazitäten 47.
Zingler, J., Theorie der zusammengesetzten Waagen (Waagen m. Gewichtsschale, Laufgewichtswaagen, Neigungswaagen, Balkenwaagen, Brückenwaagen) 462.

Fehlerberichtigung.

S. 73, 15. Zeile von unten lies $r_2 = (c_1 + d) \Big/ \left(1 - \frac{c_1}{f} \cdot \frac{R_d}{R_\delta}\right)$ statt $r_2 = (c_1 + d)\left(1 - \frac{c_1}{f} \cdot \frac{R_d}{R_\delta}\right)$.

S. 73, 13. Zeile von unten lies $r_1 = (c_2 + d) \Big/ \left(1 - \frac{c_2}{f} \cdot \frac{R_d}{R_\delta}\right)$ statt $r_1 = (c_2 + d)\left(1 - \frac{c_2}{f} \cdot \frac{R_d}{R_\delta}\right)$.

S. 360, 19. Zeile von oben lies in Litern statt im Liter.

S. 360, 19. Zeile von unten lies $v = 1{,}25905\, g \cdot d_{\frac{15}{15}}$ statt $1{,}2905\, g \cdot d_{\frac{15}{15}}$.

S. 436, unter Abb. 3 lies Phonisches statt Phonetisches.

Verzeichnis der Referenten des Jahrgangs 1928.

Name	Wohnort	Name	Wohnort
Dr. Block	Königsbg. i. Pr.	Dipl.-Ing. Linckh (*Lh.*)	Charlottenburg
Prof. Dr.-Ing. R. Bock	Hamburg	Dr. Malsch	Köln
Dr. H. Boegehold	Jena	Dr. Messow (*M.*)	Bergedorf
Dr. P. Duckert	Lindenberg	Dr. Otto	Charlottenburg
W. Dziobek (*Dz.*)	Charlottenburg	Prof. Dr. L. W. Pollak	Prag
Dr. S. Erk	Charlottenburg	Prof. Dr. M. v. Rohr	Jena
Dr. J. Flügge	Berlin	Dr. R. Scheld	Charlottenburg
Prof. Dr. F. Göpel (*G.*)	Charlottenburg	Dr. Alfred Schulze	Charlottenburg
Dr. Jan Groeneveld	Göttingen	Dr. Sewig	Charlottenburg
Dr. H. Hartinger	Jena	Dr. Sonnefeld	Jena
Prof. Dr. Dr.-Ing. h. c. K. Haußmann	Schwäb.-Gmünd	Dr. Spiller (*Sp.*)	Charlottenburg
Dr. C. A. Heiland	Golden, Col., U.S.A.	Dr. Steinhaus	Charlottenburg
Prof. Dr. Henning	Charlottenburg	V. Theimer	Leoben
Dr. Janicki (*L. J.*)	Charlottenburg	Dr. R. Vieweg	Charlottenburg
Dr. W. Keil	Charlottenburg	Prof. Dr.-Ing. P. Werkmeister (*P. W.*)	Dresden
Dipl.-Ing. Franz Levy	München	Dr. Zickner	Charlottenburg

Verantwortlich für die Redaktion: Oberregierungsrat Professor Dr. F. Göpel in Charlottenburg.
Verlag von Julius Springer in Berlin. — Druck von Oscar Brandstetter in Leipzig.

UNIVERSITY OF ILLINOIS-URBANA
3 0112 060782023